

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор Навчально-наукового інституту
«Фізико-технічний факультет»
(вказати назву структурного підрозділу)
Кузнецов П.І.Б.
(вказати П.І.Б керівника)
2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теоретична ядерна фізика

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	1 рівень (бакалаврський)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма спеціалізація	Прикладна фізика
вид дисципліни	за вибором
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2023/2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Навчально наукового інституту «Фізико-технічний факультет»

“25” серпня 2023 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади) **Онищенко Геннадій Михайлович**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

Протокол від “16” червня 2023 року № 10

Завідувач кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

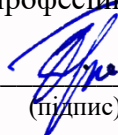


_____ (підпис)

Микола ШУЛЬГА
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми Прикладна фізика
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної) програми



_____ (підпис)

Ігор ГІРКА
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»
(назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна)

Протокол від “14” серпня 2023 року № 11

Голова науково-методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»



_____ (підпис)

Микола ЮНАКОВ
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програму навчальної дисципліни “**Теоретична ядерна фізика**” складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – “Природничі науки”. Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”. Освітня програма: «Прикладна фізика», «Медична фізика», «Біомедичні нанотехнології». При розробці Програми враховані вимоги Стандарту вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого наказом МОН України № 804 від 16.06.2020 р.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є оволодіння основними поняттями, фактами і методами сучасної теорії атомного ядра.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є ознайомлення з основними явищами, ідеями, методами фізики атомного ядра, формування базових знань в галузі теоретичної ядерної фізики; навчання студентів сучасним методам теоретичного опису структури атомних ядер і навичкам вирішення супутніх завдань.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична ядерна фізика:

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. (ЗК-2)
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. (ЗК-5)
- Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. (ЗК-6)
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК-7)
- Здатність працювати автономно. (ЗК-9)

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична ядерна фізика:

- Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проєктів. (СК-1)
- Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок. (СК-4)
- Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій. (СК-5)
- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. (СК-6)
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. (СК-7)
- Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проєктах. (СК-8)
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних задач і моделювання фізичних систем (СК-10);
- Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з

професійною гнучкістю. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних досліджень(СК-11)

1.3. Кількість кредитів **8**

1.4. Загальна кількість годин **240**.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов'язкова / За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	4-й
Семестр	
7-й	8-й
Лекції	
64 год.	70 год.
Практичні, семінарські заняття	
-	-
Лабораторні заняття	
-	-
Самостійна робота	
56 год.	50 год.
Індивідуальні завдання	
4 год.	2 год.

1.6. Заплановані результати навчання

полягають у тому, що внаслідок опанування курсу «Теоретична ядерна фізика» студенти мають засвоїти низку загальних теоретичних підходів та методів, які застосовуються для опису ядерної матерії, структури ядер, механізмів ядерних реакцій, процесів, обумовлених сильною та слабкою взаємодією. Також студенти повинні ознайомитись із сучасним станом досліджень у галузі ядерної фізики низьких та середніх енергій.

Знати:

– Основні ідеї, концепції та теоретичні методи, що містяться в основі побудови теорії ядра та ядерних реакцій; теоретичні та методологічні засади побудови ядерних моделей і механізмів ядерних реакцій; основні характеристики ядер; енергія зв'язку. Сучасні уявлення про нуклон-нуклонну взаємодію і властивості розсіювання нуклонів нуклонами, що на ній ґрунтуються. Елементи теорії розсіювання; розсіювання нерелятивістської безспінової частинки. Поняття ефективного потенціалу ядра; обмінна взаємодія; тензорний потенціал, потенціали однопійонного и однобозонного обміну; мезонна теорія ядерних сил; потенціал Юкави. Малонуклонні системи; дейтрон; розв'язок рівняння Шредингера для основного стану дейтрона; магнітний дипольний и електричний квадрупольний моменти дейтрона. Формалізм ізоспіну. Модель рідкої краплі, напівемпірична формула Вайцзеккера; поверхнева та кулонова енергія ядра. Енергія деформації рідкої краплі; поправки на спарювання. Модель фермі-газу. Магічні ядра; основи оболонкової моделі непарних ядер і узагальненої моделі ядер. Метод Хартрі-Фока; вторинне квантування та рівняння Хартрі-Фока. Залишкова нуклон-нуклонна взаємодія.

– Закони збереження, параметри ймовірності розпаду. Двочастинкові розпади: альфа розпад, протонний розпад, бета-розпад, подвійний бета-розпад. Спектри продуктів розпаду. Електромагнітні переходи у ядрах. Ймовірності переходів. Правила добору.

– Елементи теорії розсіювання; амплітуда розсіювання; диференціальний ефективний переріз пружного розсіювання, формула Резерфорда та Мотта; поняття форм-фактора. Реакція непружного розсіювання. Основні механізми ядерних реакцій - складене ядро,

прямі процеси (зрив, підхват, вибивання); передрівноважні процеси. Механізми поділу. Проникність бар'єру поділу. Структура бар'єру поділу; ізомери форми. Спонтанний поділ та тривалість процесу вимушеного поділу. Оптична модель ядерних реакцій. S-матрична модель. Резонансні процеси; формула Брейта-Вігнера. Поняття густини ядерних рівнів, статистична (випаровувальна) модель реакцій. Наближення плоских хвиль. Метод збурених хвиль. Метод сильного зв'язку каналів. Поняття про підхід Хаузера-Фешбаха. Реакції на важких іонах; реакції глибоконепружної передачі; синтез зверхважких ядер. Реакції на радіоактивних пучках.

Вміти: самостійно вирішувати найпростіші задачі та проводити оцінки перерізів для процесів у ядерній фізиці; виконувати розрахунки основних характеристик основних станів ядер – мас, електромагнітних моментів, спінів; оцінювати імовірності переходів; виконувати розрахунки перерізів розсіяння нейтронів; виконувати розрахунки параметрів деформації, електромагнітних моментів. Вміти застосовувати знання квантової механіки для аналізу та обробки результатів фізичних експериментів.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика» спеціальність 105 – «прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання:

- Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **(Зн-1)**
- Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних середовищ, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та геометричної 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 теоретичної та прикладної фізики. **(Зн-4);**
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. **(Зн-5)**
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **(Ум-1)**
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. **(Ум-3)**
- Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. **(Ум-4)**
- Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації. **(Ум-5)**
- Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики. **(Ум-6)**
- Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів. **(Ум-7);**
- Презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію. **(Ком-2)**

- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своєї освітньої траєкторії та професійного розвитку. (Ком-6)
- Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи. (АіВ-1)

2. Виклад змісту навчальної дисципліни

Тема 1. Основні характеристики ядер та нуклон-нуклонна взаємодія. Властивості сильної взаємодії, обмеження, що накладаються наявністю фундаментальних симетрій. Маса та енергія зв'язку ядер. Глобальні властивості ядер - їх розміри, форма, енергія зв'язку. Розсіювання електронів, як метод дослідження розподілу заряду та магнітного моменту всередині ядра.

Тема 2. Розсіювання нуклонів нуклонами при малих енергіях. Розсіювання при спин-орбітальній взаємодії. Розсіювання повільних нейтронів протонами. Довжина розсіювання і ефективний радіус.

Тема 3. Кулон-ядерна інтерференція. Протон-протонне розсіювання. Розсіювання нейтронів зв'язаними протонами.

Тема 4. Розсіювання нуклонів нуклонами при високих енергіях. Потенціал ядерної взаємодії.

Тема 5. Дейтрон. Хвильова функція дейтрона. Основний стан дейтрона. Основний стан дейтрона з урахуванням нецентральної сили. Магнітний момент дейтрона. Електричний квадрупольний момент дейтрона.

Тема 6. Модель рідкої краплі. Енергія зв'язку ядер. Енергії відділення протонів та нейтронів. Межі стійкості до бета-розпаду.

Тема 7. Колективні рухи нуклонів у ядрах. Коливання поверхні для ізоскалярних мод та коливання ізовекторної щільності для ізовекторних мод. Межа стабільності ядер щодо розподілу. Енергія коливань. Межа стабільності по відношенню до поділу.

Тема 8. Гігантський резонанс. Ізовекторні моди коливань. Моделі незалежних частинок. Фермі-газ.

Тема 9. Ядерні оболонки. Магічні числа. Спіни і магнітні моменти ядер. Електричні квадрупольні моменти ядер. Взаємодія між нуклонами та ізотопічний спин. Нуклонні асоціації в ядрах.

Тема 10. Потенціал гармонічного осцилятора. Потенціал прямокутної ями. Реалістичні моделі з потенціалами Вудса-Саксона для сферичних ядер.

Тема 11. Роль спин-орбітальної взаємодії. Схема рівнів сферичних ядер. Магнітні моменти непарних ядер.

Тема 12. Деформовані ядра. Походження ядерної деформації. Симетрія деформованого кістяка, відмінності у спектрах низьколежачих станів у сферичних та деформованих ядрах. Деформована модель оболонок. Квадрупольні змінні форми. Анізотропний осцилятор. Модель Нільссона. Коливання сферичних ядер. Коливання і обертання несферичних ядер. Обертання аксіально-симетричних ядер. Магнітні дипольні та електричні квадрупольні моменти несферичних ядер. Обертання неаксіальних ядер і надоберткові ядра. Врахування неадиабатичності колективних збуджень у несферичних ядрах. Об'ємні коливання і хвилі в ядрах. Зв'язок між одночастинковими і колективними рухами в ядрах.

Тема 13. Парні кореляції та їх вплив на спектри збуджень в ядрах. Вироджена модель. Теорія Бардіна-Купера-Шриффера.

Тема 14. Закони збереження. Параметри ймовірності розпаду. Двочастинкові розпади: альфа розпад, протонний розпад, бета-розпад, подвійний бета-розпад. Спектри продуктів розпаду. Ймовірності електричного та магнітного мультипольного випромінювання гамма-квантів. Дипольні, магнітно-дипольні, квадрупольні переходи, внутрішня конверсія.

Оцінки приведеної ймовірності одночасткових переходів (одиниці Вайскопфа). Ефекти придушення електромагнітного випромінювання (ізомерія ядер) та ефекти посилення (колективні ефекти). Реакція зворотнього фотопоглинання. Класифікація переходів слабких процесів за рівнем заборони та оцінка ймовірності переходів. Правила добору.

Тема 15. Слабкі процеси у ядрах. Гамільтоніан слабкої взаємодії. Ферміївські та Гамов-Теллерівські переходи. Час життя нейтрону.

Тема 16. Метод Хартрі-Фока; вторинне квантування та рівняння Хартрі-Фока. Залишкова нуклон-нуклонна взаємодія.

Усього годин за 7 семестр – 120 г. Лекції – 64 г., Самостійна робота – 56 г.

Тема 17. Класифікація реакцій. Канали реакцій. Перерізи і виходи. Функція збудження. Кутові і енергетичні розподіли продуктів реакції. Диференціальні перерізи. Збереження енергії і імпульсу, енергетичний баланс. Теплота реакції. Поріг реакції. Збереження моменту кількості руху, роль орбітального моменту, відцентровий бар'єр. Збереження парності. Збереження ізотопічного спіну. Правила добору.

Тема 18. Вступ до теорії розсіяння; диференціальний ефективний переріз розсіювання, амплітуда розсіювання; формула Резерфорда та Мотта; поняття форм-фактора. Поведінка реакції поблизу порога. Поляризація частинок у ядерному розсіянні.

Тема 19 . Кінематика реакції (нерелятивістська) Кінематичні змінні. Імпульсна діаграма реакції. Обчислення кінематики пружного та непружного розсіювання. Зв'язок ефективних перерізів і кутових розподілів у системах центра мас і лабораторній.

Тема 20. Основні механізми ядерних реакцій - прямі процеси. Реакції зарядового обміну, передачі нуклонів (зрив, підхват, вибивання); непружні процеси; розщеплення дейтрона в кулоновому полі ядра, передрівноважні процеси; механізми поділу;

Тема 21. Механізми ядерних реакцій. Складене ядро. Пружне розсіяння через складене ядро. Рівні проміжного ядра. Формула Крилова- Фока розподілу енергії стану. Незалежність розпаду складеного ядра від способу його утворення. Ширина рівня, повна і парціальні ширини. Переріз утворення складеного ядра. Поняття густини ядерних рівнів, статистична (випаровувальна) модель реакцій.

Тема 22. Амплітуда реакції, принцип детальної рівноваги. Переріз реакції з врахуванням спінів, Перерізи реакцій при низьких енергіях. Оптична модель ядерних реакцій. S-матрична модель. Наближення плоских хвиль.

Тема 23. Метод збурених хвиль. Метод сильного зв'язку каналів.

Тема 24. Поняття про підхід Хаузера-Фешбаха. Усереднені перерізи. Флуктуації перерізів.

Тема 25. Механізми ядерних реакцій. Прямі ядерні реакції, їхні характерні риси. Пружне розсіяння як прямий процес. Дейтронні реакції зриву при енергіях. Спектроскопія ядерних станів. Реакції $(p,2p)$ і $(n,2n)$ при високих енергіях - кутові і енергетичні розподіли продуктів реакції. Поняття про квазіпружне розсіяння на нуклонах ядра.

Тема 26. Реакції з нейтронами. Взаємодія повільних нейтронів з ядрами, радіаційне захоплення – домінуючий процес при низьких енергіях. Переріз в області резонансів, що перекриваються. Формула Брейта-Вігнера. Силова функція. Радіаційне захоплення у резонансній області. Спонтанний поділ та тривалість процесу вимушеного поділу. Особливості кутових і енергетичних розподілів продуктів ядерних реакцій. Функція збудження для нейтронів. Реакція непружного розсіяння.

Тема 27. Дифракційне розсіяння нейтронів. Ближня та дальня амплітуди. Ядерна райдуга.

Тема 28. Особливості взаємодії заряджених частинок - кулонівський бар'єр і внесок резерфордового розсіяння. Огляд властивостей реакцій із протонами і альфа- частинками. Оцінка енергії збудження проміжного ядра.

Тема 29. Кулонове збудження. Верхня і нижня межі енергій частинок, що налітають. Формула для перерізу в напівкласичному випадку. Функції збудження для різних мультиполей. Кутові розподіли гама-квантів. Роль кулонового збудження у дослідженні колективних станів ядер. Особливості кулонового збудження важкими іонами - утворення ядерних станів з високими моментами.

Тема 30. Реакції з важкими іонами. Велике число відкритих каналів і проблеми ідентифікації продуктів реакцій. Роль кулонового і відцентрового бар'єрів. Механізми реакцій при енергіях іонів, що перевищують кулонівський бар'єр: пружне розсіяння іонів, дотична взаємодія, реакції глибоконепружної передачі; реакції повного злиття. Пошуки трансуранових елементів і проблема границь стійкості ядер.

Тема 31. Електроядерні реакції. Пружне когерентне і некогерентне розсіяння електронів на нуклонах ядра. Формфактори ядер. Вимірювання розподілу заряду в ядрах. (e, e, p) - експеримент і вимірювання імпульсного розподілу нуклонів. Непружне розсіяння електронів: моделі перехідної густини, приведені імовірності, мультипольності переходів. Спостереження мультипольних резонансів - гігантський дипольний резонанс, ригіт-резонанс. Поняття про радіаційні поправки, радіаційний хвіст.

Тема 32. Фотоядерні реакції. Спектр гальмівного гама-випромінювання. Фоторозщеплення дейтрона, пряме виривання протонів. Квазідейтронний механізм фотоядерних реакцій.

Усього годин за 8 семестр – 120 г. Лекції – 70 г., Самостійна робота – 50 г.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин												
	денна форма						заочна форма						
	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Тема 1. Основні характеристики ядер та нуклон-нуклонна взаємодія	8	4				4							
Тема 2. Розсіяння нуклонів нуклонами при малих енергіях. Розсіяння при спіно-орбітальній взаємодії	8	4				4							
Тема 3. Кулон-ядерна інтерференція. Протон-протонне розсіяння.	8	4				4							
Тема 4. Розсіяння нуклонів нуклонами	8	4				4							

при високих енергіях. Потенціал ядерної взаємодії.												
Тема 5. Дейтрон. Хвильова функція дейтрона. Магнітний момент дейтрона. Електричний квадрупольний момент дейтрона.	8	4				4						
Тема 6. Модель рідкої краплі. Енергія зв'язку ядер. Енергії відділення протонів та нейтронів. Межі стійкості до бета-розпаду.	8	4				4						
Тема 7. Колективні рухи нуклонів у ядрах. Коливання поверхні для ізоскалярних мод та коливання ізовекторної щільності для ізовекторних мод.. Енергія коливань. Межа стабільності по відношенню до поділу	8	4				4						
Тема 8. Ізовекторні моди коливань. Гігантський резонанс. Моделі незалежних частинок. Фермі-газ.	8	4				4						
Тема 9. Ядерні оболонки. Магічні числа. Спіни і магнітні моменти ядер. Електричні квадрупольні моменти ядер. Взаємодія між нуклонами та ізотопічний спіни. Нуклонні асоціації в ядрах.	7	4				3						
Тема 10. Потенціал гармонічного осцилятора. Потенціал прямокутної ями. Реалістичні моделі з потенціалами Вудса-Саксона для сферичних ядер.	7	4				3						
Тема 11. Роль спіно-орбітального вза-	7	4				3						

Тема 17. Класифікація реакцій. Канали реакцій. Перерізи і виходи. Функція збудження. Кутові і енергетичні розподіли продуктів реакції. Диференціальні перерізи. Збереження енергії і імпульсу, енергетичний баланс. Тепло реакції. Поріг реакції. Збереження моменту кількості руху, роль орбітального моменту, відцентровий бар'єр. Збереження парності, ізотопічного спіну. Правила добору.	8	5				3						
Тема 18. Вступ до теорії розсіяння; диференціальний ефективний переріз розсіювання, амплітуда розсіювання; формула Резерфорда та Мотта; поняття форм-фактора. Поведінка реакції поблизу порога. Поляризація частинок у ядерному розсіянні.	8	5				3						
Тема 19. Кінематика реакції (нерелятивістська) Кінематичні змінні. Імпульсна діаграма реакції.	8	5				3						
Тема 20. Основні механізми ядерних реакцій - прямі процеси. Реакції зарядового обміну, передачі нуклонів (зрив, підхват, вибивання); непружні процеси; розщеплення дейтро-на в кулоновому полі ядра, передрівно-важні процеси; механізми поділу;	8	5				3						
Тема 21. Механізми ядерних реакцій. Складене ядро. Пружне	8	5				3						

розсіяння через складене ядро. Рівні проміжного ядра. Ширина рівня, повна і парціальні ширини. Переріз утворення складеного ядра. Густина ядерних рівнів, статистична (випаровувальна) модель реакцій.												
Тема 22. Амплітуда реакції, принцип детальної рівноваги. Переріз реакції з врахуванням спінів, Перерізи реакцій при низьких енергіях. Оптична модель ядерних реакцій. S-матрична модель. Наближення плоских хвиль.	8	5				3						
Тема 23. Метод збурених хвиль. Метод сильного зв'язку каналів.	8	4				4						
Тема 24. Поняття про підхід Хаузера-Фешбаха. Усереднені перерізи. Флуктуації перерізів.	8	4				4						

Тема 25. Механізми ядерних реакцій. Прямі ядерні реакції. Пружне розсіяння як прямий процес. Дейтронні реакції зриву при енергіях. Поняття про квазі-пружне розсіяння на нуклонах ядра.	7	4				3						
Тема 26. Реакції з нейтронами. Взаємодія повільних нейтронів з ядрами, радіаційне захоплення. Переріз в області резонансів. Формула Брейта-Вігнера. Силова функція. Радіаційне захоплення у резонансній області. Спонтанний поділ. Кутові і енергетичні розподіли продуктів ядерних реакцій. Функція збудження для нейтронів. Реакція непружного розсіяння.	7	4				3						
Тема 27. Дифракційне розсіяння нейтронів. Ближня та дальня амплітуди. Ядерна райдуга.	7	4				3						
Тема 28. Особливості взаємодії заряджених частинок - кулонів бар'єр і внесок резерфордського розсіяння. Реакції із протонами і альфа-частинками.	7	4				3						
Тема 29. Кулонове збудження. Верхня і нижня межі енергій частинок, що налітають. Переріз в напівкласичному випадку. Функції збудження для різних мультиполей. Кутові розподіли гамма-квантів. Дослідження колективних станів ядер. Утворення ядерних станів з високими моментами.	7	4				3						

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Не передбачені.

5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
1.	Основні характеристики ядер та нуклон-нуклонна взаємодія	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
2.	Розсіяння нуклонів нуклонами	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
3.	Кулон-ядерна інтерференція.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
4.	Розсіяння нуклонів нуклонами при високих енергіях.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
5.	Дейтрон. Хвильова функція дейтрона.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
6.	Модель рідкої краплі. Енергія зв'язку ядер.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
7.	Коллективні рухи нуклонів у ядрах.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
8.	Ізовекторні моди коливань. Гігантський резонанс. Фермі-газ.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
9.	Ядерні оболонки. Магічні числа.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
10.	Потенціал гармонічного осцилятора, прямокутної ями.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
11.	Роль спин-орбітального взаємодії. Магнітні моменти ядер	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
12.	Деформована модель оболонок. Модель Нільссона.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
13.	Парні кореляції. Теорія Бардіна-Купера-Шриффера.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
14.	Альфа розпад, протонний розпад, бета-розпад, подвійний бета-розпад. Імовірності випромінювання гамма-квантів. Внутрішня конверсія. Ядерна ізомерія.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
15.	Слабкі процеси у ядрах. Ферміївські та Гамов-Теллерівські переходи.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
16.	Метод Хартрі-Фока; вторинне квантування та рівняння Хартрі-Фока. Залишкова нуклон-нуклонна взаємодія.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
17.	Класифікація реакцій. Канали реакцій. Перерізи і виходи. Функція збудження.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
18.	Вступ до теорії розсіяння;	3	Перевірка домашнього

	диференціальний ефективний переріз розсіювання, амплітуда розсіювання;		завдання, опитування
19.	Кінематика реакції	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
20.	Основні механізми ядерних реакцій - прямі процеси.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
21.	Механізми ядерних реакцій. Складене ядро. Пружне розсіяння через складене ядро. Густина ядерних рівнів, статистична (випаровувальна) модель реакцій.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
22.	Амплітуда реакції, принцип детальної рівноваги. Переріз реакції з врахуванням спінів, Оптична модель ядерних реакцій. S-матрична модель. Наближення плоских хвиль.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
23.	Метод збурених хвиль. Метод сильного зв'язку каналів.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
24.	Поняття про підхід Хаузера-Фешбаха. Усереднені перерізи. Флуктуації перерізів.	4	Перевірка домашнього завдання, опитування
25.	Механізми ядерних реакцій. Прямі ядерні реакції. Пружне розсіяння як прямий процес. Дейтронні реакції зриву при енергіях.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
26.	Реакції з нейтронами. Взаємодія повільних нейтронів з ядрами, радіаційне захоплення. Формула Брейта-Вігнера. Силова функція. Спонтанний поділ. Функція збудження для нейтронів. Реакція непружного розсіяння.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
27.	Дифракційне розсіяння нейтронів. Близня та дальня амплітуди. Ядерна райдуга.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
28.	Особливості взаємодії заряджених частинок. Реакції із протонами і альфа- частинками.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
29.	Кулонове збудження. Функції збудження для різних мультиполей. Дослідження колективних станів ядер. Утворення ядерних станів з високими моментами.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
30.	Реакції з важкими іонами. Проблеми ідентифікації продуктів реакцій. Роль кулонового і відцентрового бар'єрів. Механізми реакцій: пружне розсіяння іонів, дотична взаємодія, реакції глибоконепружної передачі; реакції повного злиття.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
31.	Електроядерні реакції. Пружне когерентне і некогерентне розсіяння електронів на нуклонах ядра. Форм-	3	Перевірка домашнього завдання, опитування

	фактори ядер. Непружне розсіяння електронів: моделі перехідної густини, приведені імовірності, мультипольності переходів. Гігантський дипольний резонанс, рiгмі-резонанс. Радіаційні поправки, радіаційний хвіст.		
32.	Фотоядерні реакції. Спектр гальмівного гамма-випромінювання. Фоторозщеплення дейтрона, пряме виривання протонів. Квазідейтронний механізм фотоядерних реакцій.	3	Перевірка домашнього завдання, опитування
	Разом	106	

6. Індивідуальні завдання

Передбачена **курсва робота** (7 семестр) за однією з наведених тем, які розподіляються між студентами групи. Оцінювання (**20 балів**).

1. Розсіяння нейтронів в пара- і ортоводні.
2. Радіаційне захоплення нейтронів протонами.
3. Фоторозщеплення дейтрона.
4. Оболонкові поправки.
5. Надплинність ядерної матерії.
6. Моменти інерції несферичних ядер.
7. Радіоактивність ядер.
8. Універсальна слабка взаємодія.
9. Імовірність випромінювання фотона.
10. Імовірності електромагнітних переходів у ядрах.

Передбачена одна **контрольна робота на семестр**, яка складається з двох частин. Перша передбачає письмову відповідь на десять питань про визначення або закони. Оцінювання (**5 балів**). Друга частина передбачає письмову відповідь на завдання, яке складається з одного теоретичного питання та двох задач, з наступним захистом в усній формі. Оцінювання (**15 балів**).

7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді–бесіди. Задаються домашні завдання з розв'язування задач.

8. Методи контролю

Поточний контроль складається з:

- 1) активної участі в аудиторних заняттях – до 1 бала за заняття (ваговий бал – **10**);
- 2) виконання домашніх завдань із розв'язування задач (ваговий бал – **10**);
- 3) контрольної роботи (ваговий бал – **20**).

Критерії оцінювання першої частини контрольної роботи. Максимальна кількість балів становить **5 балів**. Перша частина містить десять питань про визначення та закони, які мали бути засвоєні під час навчання.

- Кожна правильна відповідь оцінюється в 0,5 бала.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 0,25 бала.

- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання другої частини контрольної роботи. Максимальна кількість балів становить **15 балів**. Друга частина містить одне теоретичне питання та дві задачі.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

- Повна розгорнута відповідь - 5 балів.
- Повна, але не розгорнута відповідь - 4 бали.
- Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 3 бали.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 2 бали.
- Неповна відповідь, яка не містить суперечностей, - 1 бал.
- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

- Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 5 балів.
- Студент отримав загальний розв'язок, але неправильно вирахував числове значення відповіді або помилився в одиницях вимірювання - 4 бали.
- Студент правильно вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 3 бали.
- Студент не повністю вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.
- Студент неправильно вписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній - 0 балів.

4) виконання курсової роботи (ваговий бал – **20**).

Підсумковий контроль проводиться в формі екзамену. До складання іспиту допускають студентів, які набрали протягом семестру не менше 30 балів. Екзаменаційне завдання: білет містить два теоретичних питання та задачу.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

- Повна розгорнута відповідь - 15 балів.
- Повна, але не розгорнута відповідь - 12 балів.
- Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 9 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.
- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

- Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 10 балів.
- Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 8 балів.
- Студент правильно вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 5 балів.
- Студент не повністю вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.
- Студент неправильно вписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній - 0 балів.

Число балів, які студент отримав на екзамені, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою що наведена нижче.

Для допуску до складання підсумкового контролю (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 15 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для чотирирівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

9. Запитання до екзамену

1. Фундаментальні взаємодії і ядерні сили
2. Модель рідинної краплі
3. Формула Вайцекера для енергії зв'язку ядер.
4. Ізотопічний спіні.
5. Спіні і магнітні моменти ядер
6. Електричні квадрупольні моменти ядер
7. Взаємодія між нуклонами та ізотопічний спіні
8. Основний стан дейтрона
9. Основний стан дейтрона з урахуванням нецентральної сили
10. Електричний квадрупольний і магнітний дипольний моменти дейтрона
11. Розсіяння повільних нейтронів протонами
12. Довжина розсіяння і ефективний радіус
13. Розсіяння нейтронів зв'язаними протонами
14. Розсіяння протонів протонами
15. Розсіяння нуклонів нуклонами при високих енергіях
16. Модель фермі-газу для ядра
17. Одночастинкова оболонкова модель зі спіні-орбітальною взаємодією.
18. Спіні ядер. Спіні-орбітальна взаємодія
19. Магнітні дипольні й електричні квадрупольні моменти ядер
20. Нуклонні асоціації в ядрах
21. Узагальнена модель ядра
22. Коливання сферичних ядер
23. Коливання і обертання несферичних ядер
24. Обертання аксіально-симетричних ядер
25. Магнітні дипольні та електричні квадрупольні моменти несферичних ядер
26. Обертання неаксіальних ядер і надобертові ядра
27. Врахування неадіабатичності колективних збуджень у несферичних ядрах
28. Об'ємні коливання і хвилі в ядрах
29. Зв'язок між одночастинковими і колективними рухами в ядрах

10. Рекомендоване методичне забезпечення

Базова література

1. О.І. Ахієзер, Ю.А. Бережной. Теорія ядра. К.: Вища школа, 1995. – 256 с.
2. А.Г. Ситенко, В.С. Тартаковський. Теорія ядра. К.: Либідь, 2000. – 608 с.
3. John M. Blatt, Victor F. Weisskopf . Theoretical Nuclear Physics. 1991.
4. M. A. Preston. Physics of the Nucleus. 1962.
5. Ю.А. Бережной, Г.М. Онищенко. Структура атомних ядер. ХНУ імені В.Н. Каразіна 2013.
6. Ю.А. Бережной, Г.М. Онищенко. Електромагнітні властивості та радіоактивність атомних ядер. ХНУ імені В.Н. Каразіна. 2016.

Допоміжна література

7. О.І. Ахієзер, Ю.А. Бережной. Теорія ядерних реакцій. Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. – 368 с.
8. Ю.А. Бережной . Лекції з квантової механіки, 2008. – 448 с.
9. Z. Flugge. Practical Quantum Mechanics, 1994.
10. L.D. Landau. E. M. Lifshitz. The course of theoretical physics. Published by Elsevier India, 2012
11. A. Bohr, B. Mottelson. Nuclear Structure, v.1, 2, 1998.
12. J.Eisenberg and W.Greiner. Nuclear Theory, Vol. 1, 2. 1975
13. L. Valentin. Subatomic Physics: Nuclei and Particles, V. 1, V.2, 1981 .

Інформаційні ресурси

1. Веб-ресурси кафедри, мережа інтернет.
2. Бібліотека ХНУ імені В.Н.Каразіна.
3. <https://www-nds.iaea.org/exfor/endl.htm>