

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Голова Приймальної комісії  
Геннадій ОБОРСЬКИЙ  
від \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ПРОГРАМА ВСТУПНОГО ФАХОВОГО ВИПРОБУВАННЯ**

для вступу на навчання за освітньо-науковим рівнем доктора філософії  
за спеціальності **104 - Фізика та астрономія**

# ТЕОРІЯ АТОМНОГО ЯДРА

## ЯДЕРНІ СИЛИ І СТРУКТУРА ЯДРА

1. Нуклон-нуклонні взаємодії при низьких енергіях. Ізотропічна симетрія. Тензорні сили. Мезонна теорія сильної взаємодії. Теорія дейтрона. Нуклон-нуклонні взаємодії при високих енергіях. Кваркова структура нуклонів і сильні взаємодії. Трьохнуклонні ядра.

2. Загальні властивості ядерної речовини. Ядерна модель Фермі-газу. Ядерна матерія. Імпульс і енергія Фермі. Повна енергія ядер. Енергія зв'язку ядер. Густина ядерної речовини. Краплинна модель ядра.

3. Оболонкова модель ядра. Самоузгоджений ядерний потенціал. Роль спин-орбітальної взаємодії. Послідовність однокатинкових рівнів. Метод Хартрі-Фока. Використання методу в теорії груп для класифікації станів багатонуклонних ядер у схемах  $Is$ - і  $jj$ - зв'язків. Проміжний зв'язок.

4. Модель ядра її залишковою взаємодією. Надплинна модель ядра. Теорія Бардіна-Купера-Шриффера. Квазічастинки у ядрі. Перетворення Боголюбова. Енергетична щільність. Енергія основного стану. Моменти інерції ядер.

5. Колективні рухи в ядрах. Обертальні та коливальні енергетичні спектри несферичних ядер. Узагальнена модель ядра. Квадрупольні деформації поверхні ядер. Моменти інерції. Електромагнітні моменти несферичних ядер. Модель Нільсена.

6. Кваркова модель ядра. Вплив кваркових ступенів вільності на властивості ядер. Дейтрон як шостикваркова система. Інтерполяційна кваркова модель ядер.

## ТЕОРІЯ ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ

1. Хвильові функції неперервного спектру. Аналітичні властивості  $S$ -матриці. Дисперсійні співвідношення.

2. Амплітуда розсіяння.  $T$ -матриця. Імовірність і переріз розсіяння і переріз розсіяння і реакцій. Оптична теорема.

3. Розсіяння безспінових частинок і частинок із спіном. Закони зберігання. Одноканальне і багатоканальне розсіяння. Поляризація частинок при розсіянні і в ядерних реакціях.

4. Борнівське наближення із плоскими і з викривленими хвилями. Перше і друге борнівське наближення.

5. Ядерні реакції, які йдуть через утворення компаунд-ядра. Модель Бора. Резонансні і нерезонансні ядерні реакції. Формули Брейта-Вігнера. Переріз Вайскопфа.

6. Прямі ядерні реакції. Ядерні реакції зриву і підхоплення. Оптична модель взаємодії нуклонів та інших частинок з ядрами. Уявна частина потенціалу взаємодії. Дифракційні ядерні процеси з участю нуклонів і дейтронів.

7. Електромагнітні взаємодії в ядрах. Імовірність електромагнітних мультитипових переходів і ядрах. Випромінювання і поглинання фотонів ядрами. Правила відбору гігантські резонанси в ядрах. Фоторозщеплення дейтрона. Взаємодія електронів в ядрах. Електрозбудження ядер важкими зарядженими частинками. Розщеплення дейтронів в кулонівському полі ядер.

8. Розсіяння на системах зв'язаних частинок. Квазіпружне розсіяння. Багатократне розсіяння. Теорія Глаубера-Ситенка.

9. Розсіяння і реакції за участю частинок високих енергій. Формфактори. Взаємодія частинок з ядрами як з багатокварковими системами.

## ФІЗИКА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

1. Таблиця елементарних частинок. Фундаментальні взаємодії. Ферміони і бозони. Лептони, адрони і кванти взаємодії.

2. Квантова електродинаміка. Рівняння Дірака і діраковський лагранжіан. Ліві і праві ферміони. Діаграми Фейнмана. Поляризація вакууму. Абелева калібрувальна інваріантність в квантовій електродинаміці

3. Кольорова симетрія сильних взаємодій. Квантова хромодинаміка. Неабелева калібрувальна інваріантність в квантовій хромодинаміці. Проблема конфайнменту.

4. Слабка взаємодія та її об'єднання з електромагнітою взаємодією. Модель Вайнберга-Салама-Глешоу. Нейтральні токи. Симетрія  $SU_2 \times U_1$  Проміжні векторні бозони. Фотон і Z- бозон.

5. Стандартна модель у фізиці елементарних частинок та її лагранжіан. Загальна коваріантна похідна у ферміонному лагранжіані. Калібрувальні ферміон- бозонний лагранжіан. Три сім'ї фундаментальних ферміонів. Симетрія  $SU_3 \times SU_2 \times U_1$ . Проблема має частинок і механізм Хіггса.

6. Взаємодія елементарних частинок. Розсіяння електронів на нуклонах і електромагнітні формфактори нуклонів. Взаємодія піонів з нуклонами. Взаємодія нейтрино і антинейтрино з різними частинками. Процеси з великою передачею імпульсу і енергії. Партонова модель.

7. Перспективи об'єднання усіх взаємодій природа. Константа зв'язку різних взаємодій природи і їх залежність від імпульсу, що передається. Ферміони і бозони в групі  $SU_5$ . Велике об'єднання трьох взаємодій і розпад протона. Магнітні монополі. Проблеми об'єднання з гравітацією. Суперсиметрія. Моделі об'єднання взаємодій і великий вибух у всесвіті.

## КВАНТОВА ТЕОРІЯ ПОЛЯ

1. Системи тотожних частинок. Бозони і ферміони. Представлення чисел заповнення. Оператори фізичних величин в представленні чисел заповнення.

2. Рівняння Клейна-Гордона-Фока та його особливості рівняння Дірака. Лоренц-коваріантність теорії Дірака. Внутрішня парність елементарних частинок. Зарядове спряження. Вільний електрон в теорії Дірака. Релятивістський електрон в кулонівському полі ядра. Функція Лагранжа для електронно-позитронного поля. Квантування електронно-позитронного поля.

3. Електромагнітне поле. Лагранжів електромагнітного поля. Квантування електромагнітного поля.

4. Взаємодіючі електронно-позитронне і електромагнітне поля. Вихідна система рівнянь квантової електродинаміки. Представлення Гайзенберга, Шредінгера та Дірака-Томонага-Шредінгера в квантовій електродинаміці. Задача розсіяння в квантовій теорії взаємодіючих полів. Оператор еволюції та матриця розсіяння.

5. Імовірність розпаду та переріз розсіяння в квантовій теорії поля. Розсіяння електрона на електроні. Комптон-ефект. Дво- та багатофотонна анігіляція електронно-позитронної пари. Діаграма Фейнмана в координатному та імпульсному просторах. Фотонний пропагатор. Електронно-позитронний пропагатор. Перерізи процесів другого порядку (гальмівне випромінювання, народження електронно-позитронних пар в кулонівському полі важких ядер) при наявності зовнішніх полів. Розсіяння електронів на адронах. Формфактори адронів.

6. Поняття про розбіжності в квантовій теорії поля. Регуляція розбіжних інтегралів. Перенормування теорії. Перенормування маси та заряду електрона в квантовій електродинаміці.

7. Принцип локальної каліброваної інваріантності. Внутрішні симетрії. Принцип спонтанного порушення симетрії. Теорема Голдстоуна. Феномен Хіггса. Стандартна модель Глешоу-Вайнберга-Салама. Маси бозонів та лептонів. Нейтральні струми. Кварк-лептонна аналогія,  $SU(5)$  - симетрія та єдина теорія слабких, електромагнітних і сильних взаємодій.

8. Релятивістська інваріантність. Групи Лоренца і Пуанкаре. Представлення і хвильові функції частинок. Групи внутрішніх симетрій (поняття, означення, приклади). Лагранжів формалізм. Рівняння Ейлера-Лагранжа. Теорема Нетер.

9. Рівняння для вільних частинок (Клейна-Гордона, Дірака, електромагнітного поля). Загальні принципи квантування полів. Перестановочні функції. Представлення комутаційних /антикомутаційних/ співвідношень у просторі Фока. Повний гамільтоніан системи взаємодіючих полів у просторі Фока. Вільний і фізичний вакуум.

# Я Д Е Р Н А Ф І З И К А

## ВЗАЄМОДІЯ ЯДЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ

1. Проходження заряджених частинок крізь речовину. Іонізаційні втрати та їх флуктуації. Однократне та багатократне розсіяння.
2. Взаємодія електронів та фотонів з речовиною.
3. Випромінювання Вавілова-Черенкова.
4. Резонансне розсіяння гама-променів. Ефект Месбауера.
5. Взаємодія нейтронів з речовиною. Сповільнення нейтронів.

## ФІЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

1. Ядерні сили та загальні властивості ядерної речовини. Насичення ядерних сил. Енергія зв'язку. Ізотонічний спин. Аналоговий стан.

2. Моделі ядра. Крапельна модель ядра. Модель Фермі-газу. Одночастинкова оболонкова модель. Середній ядерний потенціал. Спінорбітальний зв'язок. Узагальнена модель ядра. Ротаційні і вібраційні рівні. Колективні ефекти в ядрах. Правила відбору для електромагнітних та бета-переходів. Квазічастинкова модель ядра (парні кореляції над-провідного типу). Густина станів, що низько лежать у ядрах. Квазічастинкові збудження.

3. Бета-розпад. Елементарна теорія бета-розпаду. Правила відбору в формі бета-розпаду. Дозволені і недозволені бета-переходи. Електронний захват. Подвійний бета-розпад. Випромінювання протонів, альфа-розпад, ділення після бета-розпаду ядра.

4. Взаємодія ядер з електромагнітним випромінюванням. Мультипольні переходи та правила відбору для гама-випромінювання. Внутрішня конверсія. Фотоядерні реакції. Кулонівське збудження ядер. Гігантські мультипольні резонанси.

5. Альфа-розпад. Елементарна теорія альфа-розпаду. Радіуси ядер.

6. Ділення ядер. Спонтанне ділення. Ділення ядра і ядерні моделі. Ізотери, які спонтанно діляться. Трансуранові і надважкі елементи.

## ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ

1. Основи теорії ядерних реакцій. Закони збереження. Принцип детальної рівноваги. Канали реакції. Матриці розсіяння. Оптична модель взаємодії нуклонів з ядрами.

2. Реакції з повільними нейтронами. Резонансний захват нейтронів. Формула Брейта-Вигнера. Розсіяння нейтронів ядрами. Розсіяння нейтронів кристалами. Відбиття та поляризація нейтронів. Дифракційне розсіяння. Нейтронна спектроскопія.

3. Реакції із швидкими нейтронами. Прямі ядерні реакції. Непружне розсіяння. Реакції передачі.

4. Фотоядерні процеси. Гігантські мультипольні резонанси.

5. Дослідження ядра за допомогою швидких електронів, мезонів, протонів. Мезоатоми. Кварки в ядрах.

## ФІЗИКА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК ТА ЇХ ВЗАЄМОДІЯ

1. Маса і квантові числа елементарних частинок. Правила відбору для слабких, електромагнітних, сильних розпадів.

2.  $NN$  та  $\pi N$  - розсіяння. Фазовий аналіз.

3. Розсіяння електронів на нуклонах і ядрах. Електромагнітні формфактори нуклона і ядер.

4. Розсіяння швидких нуклонів на ядрах. Теорія Глаубера.

5. Слабка взаємодія. Модель Салама-Вайнберга. Нейтральні токи.

6. Глибоконеprужні процеси. Партонно-кваркова структура адронів. Основні положення квантової хромодинамики.

## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДІ ВСТУПНИКА

Екзаменаційний білет вступного фахового випробування зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» містить 3 запитання.

Відповідь на кожне запитання оцінюється максимальною кількістю балів, вказаною у білеті.

Підсумковий бал за вступне фахове випробування зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» визначається як сума балів за усі запитання білета, та знаходиться в інтервалі від 0 до 200 балів.

Якщо сума балів за відповіді на питання білету менше ніж 100 балів, або вступник не надав відповіді, робота не атестується, випробування вважається таким, що не складене, у відомості встановлюється позначка «не склав». Позитивно складене випробування оцінюється за шкалою від 100 до 200 балів.

## Список літератури

1. Боголюбов М.М, Ширков Д.В Вступ до теорії квантових полів Наука,1984.
2. Славнов О.О.Фадєєв Л.Д. Вступ до теорії калібрувальних полів Наука, 1988
3. Волошин М.Б. Тер-Мартіросян К.А. Калібровочні теорії елементарних частинок, Енергоатоміздат, 1984
4. Березін Ф.О. Метод вторинного квантування Наука, 1986
5. Райдер Л. Квантова теорія поля Світ, 1985
6. Шарф І.В Конспект лекцій до курсу Квантові поля і фундаментальні взаємодії, Одеса, 2010
7. Шарф І.В Методичні вказівки до практичних занять з курсу Квантові поля і фундаментальні взаємодії Одеса, 2010
8. Кац М. Ймовірність та суміжні питання в фізиці Світ, 1965
9. Р. Фейнман, А. Хібс, Квантова механіка і інтеграли по траєкторіях, Світ, 1968
10. Друкарьов Г.Ф, Квантова механіка, Видавництво ленінградського університету, 1988
- 11.Лаврентьєв М.О., Шабат Б.В. Методи теорії функцій комплексного змінного Наука, 1987
- 12.Колінз П. Вступ до реджівської теорії і фізики високих енергій. Атоміздат, 1980
- 13.[R. J. Eden](#), [P. V. Landshoff](#), [D. I. Olive](#), [J. C. Polkinghorne](#) The Analytic S-Matrix Cambridge University Press, 2002
- 14.Смірнов В.І. Курс вищої математики, т.3 частина 1 і 2 Наука, 1974
- 15.Ландау Л.Д, Лифшиць Е.М. Теоретична фізика. Учебний посібник в 10 т. Т.3 Квантова механіка (нерелятивістська теорія) – М.: Наука, 1990, 768 с.
- 16.Фок В.А. Початки квантової механіки – М.: Наука, 2000, 377с.
- 17.Блохінцев Д.І. Основи квантової механіки - М.: Наука, 1997, 355с.
- 18.Давидов Д.С. Квантова механіка – М.Наука, 1993, 569с.
- 19.Сівухін Д.В. Загальний курс фізики, Т.5,Ч.1. Атомна фізика,-М.: 2001, 415с.
- 20.Ландау Л.Д, Лифшиць Е.М. Теоретична фізика. Учебний посібник в 10 т. Т.5 Статистична фізика Ч.1 – М.: Наука, 1991, 584 с.
- 21.Румер Ю.Б., Ривкін М.Ш. Термодінаміка, статистична фізика та кінетика- М., 2003, 405 с.
- 22.Совельєв І.В. Курс загальної фізики Т.3 Оптика, атомна фізика фізика ядра та елементарних частинок. – М.: Наука, 1991, 525с.
- 23.Фейнман Р.,Лейтон Р., Сендс М. Фейнманівські лекції з фізики т.8 Квантова механіка Ч.1, М.: Світ, 1992, 267с.
- 24.Арнольд В.І. Математичні методи класичної механіки.- М.: Наука, 1990,471с.

- 25.Ландау Л.Д, Лифшиць Е.М. Теоретична фізика. Учбовий посібник в 10 т. Т.1 Класична механіка – М.:Наука, 1998, 216 с.
- 26.Боголюбов М.М., Ширков Д.В. Квантові поля, М.: Фізматліт, 1993, 335 с.
- 27.Дірак П.А.М. Принципи квантової теорії. М.: 2005, 477с.
- 28.Слютин П.В., Кривченков В.Д. Квантова механіка з задачами, М: Фізматліт, 1996, 335 с.
- 29.Гольдман І.І., Кривченков Збірник задач з квантової механіки, М: 2005, 275с
- 30.Флюгге З. Задачі з квантової механіки Т. 1,2, М: Світ, 1997, 341 с.
- 31.Методичні вказівки до практичних занять по курсу «Додаткові розділи квантової механіки»/ Укладач: Шарф І.В. Одеса: ОНПУ, 2007.-35с. Реєстраційний номер в журналі обліку МВ02565 19.11.2007, №2845-РС-2007

Голова предметної комісії

Віктор ТАРАСОВ