

Розширені плани лекцій з навчальної дисципліни

Методи квантової теорії поля у фізиці частинок

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Квантова теорія поля та симетрії у фізиці елементарних частинок.

ТЕМА 1. Бозонні поля в квантовій теорії поля. (12 год.) Лоренцівська симетрія. Скалярні поля. Рівняння Клейна-Гордона. Квантування полів. Векторні поля, масивні векторні поля та їх квантування. Рівняння Максвелла. Квантування електромагнітного поля. Лагранжіани і дія. Рівняння Ейлера-Лагранжа. Симетрії та струми, що зберігаються.

ТЕМА 2. Ферміонні поля в квантовій теорії поля. (12 год.) Релятивістське рівняння Дірака. Властивості рівняння Дірака. Спінори Дірака, нормовані спінори, співвідношення повноти. Квантування поля Дірака. Спіральність ферміона. Лагранжіан для вільної частинки Дірака. Спін і статистика. Ферміони з нульовою масою. Рівняння Вейля.

ТЕМА 3. Симетрії у фізиці елементарних частинок. (20 год.) Загальні відомості про симетрії. Симетрії та теорія груп. Основні групи у фізиці елементарних частинок. Лоренц-інваріантність та її важливі наслідки для фізики елементарних частинок. Лоренц-інваріанти, коваріантні та контраваріантні величини. Орбітальний кутовий момент і спін. Спін мезонів, побудованих з кварків: скалярні та векторні мезони, спін баріонів. Ізотопічний спін. Ізоспін нуклонів, мезонів, баріонних резонансів. Формула Гелл-Манна-Нішиджими. Збереження (або незбереження) ізоспіна і його проекції в сильній, електромагнітній та слабкій взаємодіях. $SU(3)$ симетрія, супермультиплети частинок. Порушення просторової парності (P) в слабкій взаємодії: розпад ядра ^{60}Co . Спіральність нейтрино та антинейтрино. Просторова парність частинок і античастинок. Правила відбору за парністю в сильних та електромагнітних процесах.

ТЕМА 4. Симетрії у фізиці елементарних частинок та їх порушення. (20 год.) Симетрія відносно зарядового спряження. C -парність мезонів, фотона. G -парність, симетрія відносно G -парності у процесах сильної взаємодії. Симетрія фізичних законів відносно інверсії часу. Зв'язок перерізів прямого та зворотного процесів, принцип детального балансу. СРТ-теорема Людерса-Паулі у квантовій теорії поля. CP -симетрія. Осциляція нейтральних K -мезонів, довгоживучі і короткоживучі каони. Залежність від часу процесу осциляції каонів. Осциляція інших нейтральних мезонів. Експериментальне виявлення порушення CP -симетрії. Пошук електричних дипольних моментів елементарних частинок. Порушення CP -симетрії та її зв'язок з баріонною асиметрією Всесвіту, критерії А.Д. Сахарова.

Модуль 2. Електромагнітна, слабка та сильна взаємодії частинок. Стандартна модель у фізиці елементарних частинок.

ТЕМА 5. Електродинаміка кварків і адронів. (20 год.) Правила Фейнмана для квантової електродинаміки. Розсіяння електрона на мюоні. Анігіляція електрона і позитрона в пару мюонів при високих енергіях. Розсіяння тотожних частинок. Народження адронів у електрон-позитронній анігіляції. Утворення «струменів» адронів, 2-х і 3-х струменеві процеси. Доказ наявності трьох кольорів кварків. Пружне розсіяння електронів на нуклоні. Електричні та магнітні формфактори протона і нейтрона, та їх залежність від переданого імпульсу. Непружне розсіяння електронів і нейтрино на нуклоні. Структурні функції. Глибоко непружне розсіяння і скейлінг Бьоркена. Партонна модель і пояснення скейлінга. Функції розподілу кварків в нуклоні за бьоркенівською змінною. Валентні та морські кварки. Порушення бьоркенівського скейлінга. Фрагментація (адронізація) кварків в адрони.

ТЕМА 6. Слабка взаємодія лептонів і кварків. (20 год.) Слабка взаємодія і частинки, які в ній приймають участь. Слабка взаємодія лептонів. Слабка та електромагнітна взаємодія W- і Z-бозонів. Заряджені і нейтральні струми. “V-A” структура зарядженої слабкої взаємодії. Розпад мюону, його час життя та стала Фермі. β -розпад нейтрона, обчислення часу його життя. Збереження векторного струму та часткове збереження аксіально-векторного струму. Слабкі розпади заряджених пі-мезонів. Заряджені взаємодії кварків. Розпад $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ та існування чарівного кварка. Матриця Кабіббо-Кобаяши-Маскави, параметри матриці та порушення CP симетрії. Нейтральні слабкі струми та Z-бозон. Електрон-позитронна анігіляція в пару ферміон-антиферміон при високих енергіях. Інтерференція слабого та електромагнітного механізмів в електрон-позитронній анігіляції $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

ТЕМА 7. Стандартна модель у фізиці елементарних частинок. Фізика за межами Стандартної моделі. (14 год.) Принципи об'єднаної теорії слабкої і електромагнітної взаємодій. Локальна калібрувальна інваріантність. Спонтанне порушення симетрії. Механізм Хіггса. Виникнення маси калібрувальних бозонів і ферміонів. Ширина розпаду Z-бозона. Фізика топ кварка. Механізми утворення бозона Хіггса на Великому адронному колайдері в ЦЕРН. Розпади бозона Хіггса. Теоретичні моделі за межами Стандартної Моделі: велике об'єднання взаємодій і розпад протона, суперсиметрія, додаткові розмірності простору.