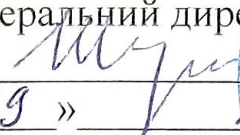


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор


« 29 » 12 2017 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Методи квантової теорії поля у фізиці частинок

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

Доктор філософії

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

104 фізика та астрономія

освітня програма

освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»

спеціалізація

вид дисципліни

обов'язкова

Інститут

Інститут теоретичної фізики ННЦ
«Харківський фізико-технічний інститут»

2017 / 2018 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “ 07 ” 12 2017 року, протокол № 9

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф.-м.н., завідувач відділу, Олександр Корчин

Програму схвалено на засіданні Вченої ради Інституту теоретичної
фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

від “ 31 ” 10 2017 року, протокол № 5

т.в.о. директора Інституту теоретичної фізики ННЦ «Харківський
фізико-технічний інститут»


(підпис)

Леонід ДАВИДОВ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»
назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Методи квантової теорії поля у фізиці частинок» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом другого року навчання.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. **Метою** викладання навчальної дисципліни є фахова підготовка аспірантів в сфері квантової теорії поля і фізики елементарних частинок. Предметом вивчення дисципліни є методи квантової теорії поля, закономірності взаємодії елементарних частинок, їх властивості та основні фізичні процеси за участю частинок.

1.2. **Основними завданнями** вивчення дисципліни «Методи квантової теорії поля у фізиці частинок» є

а) загальні позиції

здобуття глибоких знань із спеціальності, за якою аспірант проводить дослідження;

оволодіння загальнонауковими (філософськими) компетенціями спрямованими на формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору;

набуття універсальних навичок дослідника необхідних для успішної наукової, науково-організаційної і педагогічної діяльності, комунікації з науковою спільнотою, урядовими і громадськими організаціями;

оволодіння мовними компетенціями, достатніми для представлення та обговорення результатів своєї наукової роботи іноземною мовою (англійською) в усній та письмовій формі, а також для повного розуміння іншомовних наукових текстів зі спеціальності «Фізика та астрономія».

б) вузькопрофесійні завдання

полягають в тому, щоб допомогти аспірантам засвоїти поширені та поглиблені знання квантової теорії поля, елементарних частинок та їх властивостей, розуміти механізми їх взаємодії та симетрій;

засвоїти теоретичні методи та здобути практичні навички обчислення ймовірностей деяких важливих фізичних процесів; сформувати знання про сучасну теорію елементарних частинок та їх взаємодії – Стандартну модель;

зацікавити аспірантів самостійно працювати з літературою в області фізики елементарних частинок.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Методи квантової теорії поля у фізиці частинок»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	
спеціальність	104 – фізика та астрономія
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Мова навчання	Українська
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибір ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	екзамен
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	II
Лекційні заняття	32
Практичні заняття	16
Самостійна робота	70
Консультації	2

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки аспіранти повинні досягти таких результатів навчання:

Знати:

- методи наукових досліджень та вміння їх використовувати на належному рівні;
- вміння розшукувати, опрацьовувати, аналізувати та синтезувати отриману інформацію; основи квантової теорії поля, використання квантової теорії поля для опису скалярних, векторних і ферміонних полів;
- Стандартну модель у фізиці елементарних частинок;
- основні принципи побудови цієї теорії, в тому числі локальну калібрувальну симетрію, спонтанне порушення симетрії та механізм Хіггса;
- дискретні симетрії, такі як просторова парність, зарядова симетрія, інверсія часу;
- походження CP симетрії та її зв'язок з фундаментальною проблемою асиметрії матерії і антиматерії у Всесвіті.

Уміти:

- формулювати мету власного наукового дослідження в контексті світового наукового процесу, усвідомлювати його актуальність і значення

для розвитку сучасної теорії елементарних частинок і Стандартної моделі, інших галузей науки, загального розвитку суспільства;

- застосовувати здобуті знання для аналізу, пояснення та опису різноманітних фізичних процесів за участю елементарних частинок, симетрій фізичних теорій та їх наслідків.

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Змістовий модуль 1 включає теми 1–4, змістовий модуль 2 – теми 4–7.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

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

ТЕМА1. 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.

Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	Лекції	Практичні/семінарські заняття	Самостійна робота
Змістовний модуль 1. Квантова теорія поля та симетрії у фізиці елементарних частинок.			
Тема 1. Бозонні поля в квантовій теорії поля.	4	2	6
Тема 2. Ферміонні поля в квантовій теорії поля.	4	2	6
Тема 3. Симетрії у фізиці елементарних частинок.	4	4	12
Тема 4. Симетрії у фізиці елементарних частинок та їх порушення.	6	2	12
Разом за змістовний модуль 1	18	10	36
Змістовний модуль 2. Електромагнітна, слабка та сильна взаємодії частинок. Стандартна модель у фізиці елементарних частинок.			
Тема 5. Електродинаміка кварків і адронів.	4	2	14
Тема 6. Слабка взаємодія лептонів і кварків.	6	2	12
Тема 7. Стандартна модель у фізиці елементарних частинок. Фізика за межами Стандартної моделі.	4	2	8
Разом за змістовний модуль 2	14	6	34
Всього	32	16	70

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 32 год.; практичних/семінарів – 16 год., самостійної роботи – 70 год., консультацій – 2 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Процеси Дрелла-Яна в партонній моделі. Перерізи народження пари мюонів у зіткненнях нуклонів і ядер.	4
2	Феноменологія адронів. Феноменологічні моделі сильної взаємодії адронів.	4

3	Спін-спінова взаємодія кварків і обчислення маси псевдоскалярних і векторних мезонів.	4
4	Знаходження маси баріонів, що належать октету і декаплету. Магнітні моменти баріонів у кварковій моделі.	4
	Всього	16

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами змістовного модуля 1.	36
2	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами змістовного модуля 2.	34
	Всього	70

Запитання для самоперевірки

1. Що таке квантова теорія поля і які основні принципи лежать в її основі?
2. Які типи полів існують у квантовій теорії поля та як вони взаємодіють між собою?
3. Що таке бозонні поля і які властивості вони мають?
4. Яке рівняння описує скалярні поля і що воно означає?
5. Які поля відповідають векторним бозонам і яким рівнянням вони задовольняють?
6. Які принципи лежать в основі квантування полів?
7. Які поля відповідають ферміонам і як вони відрізняються від бозонів?
8. Які рівняння описують ферміонні поля і що ці рівняння означають?
9. Що таке релятивістське рівняння Дірака і як воно описує ферміонні поля?
10. Які властивості мають спінори Дірака?
11. Які симетрії відображаються у фізиці елементарних частинок?
12. Які принципи лежать в основі симетрії Лоренца та їх наслідки?
13. Що таке орбітальний кутовий момент і спін, і як вони пов'язані зі симетріями?
14. Які симетрії відповідають групі SU(3) та як вона застосовується у фізиці елементарних частинок?
15. Що таке порушення симетрії в фізиці елементарних частинок і які наслідки воно має?
16. Які симетрії відповідають зарядовому спряженню C і G-парності?
17. Що таке CP-симетрія і які наслідки вона має в фізиці елементарних частинок?

18. Які симетрії відповідають групі $SU(2) \times U(1)$ і як вони застосовуються у Стандартній моделі частинок?
19. Які фізичні процеси описуються слабкою та електромагнітною взаємодіями?
20. Що таке ієрархія мас частинок і які підходи існують для її пояснення?

Запитання до екзамену

1. Скалярні, векторні та ферміонні поля в квантовій теорії поля. Лагранжіани та рівняння стану вільних частинок зі спінами 0, 1 та $\frac{1}{2}$.
2. Симетрії у фізиці елементарних частинок, безперервні та дискретні. Зв'язок симетрій з теорією груп. Основні групи у фізиці елементарних частинок.
3. CP-симетрія. Осциляція нейтральних K-мезонів, довгоживучі і короткоживучі каони.
4. Порушення CP-симетрії. Матриця Кабіббо-Кобаяші-Маскави та порушення CP симетрії.
5. CPT теорема. Пошук електричних дипольних моментів (ЕДМ) елементарних частинок. Сучасний експериментальний стан ЕДМ для різних частинок.
6. Народження адронів у електрон-позитронній анігіляції. Утворення «струменів» адронів, прояв глюонів і доказ наявності трьох кольорів кварків.
7. Глибоко непружне розсіяння електронів на нуклоні та скейлінг Бьоркена. Партона модель адронів.
8. Функції розподілу кварків в нуклоні. Валентні та морські кварки. Порушення бьоркенівського скейлінга. Фрагментація (адронізація) кварків.
9. Заряджена слабка взаємодія лептонів і кварків. Слабка та електромагнітна взаємодія W- і Z-бозонів.
10. Електрон-позитронна анігіляція в пару ферміон-антиферміон при високих енергіях. Інтерференція електромагнітного та слабого механізмів.
11. Локальна калібрувальна інваріантність у квантовій електродинаміці. Взаємодія фотонів із зарядженими ферміонами, безмасовість фотона.
12. Локальна калібрувальна інваріантність у квантовій хромодинаміці. Взаємодія кварків з глюонами та самодія глюонів.
13. Спонтанне порушення глобальних симетрій. Випадки дискретних та неперервних абелевої і неабелевої симетрій.
14. Спонтанне порушення локальної безперервної симетрії та механізм Хіггса в електрослабкій $SU(2)_L \times U(1)_Y$ теорії. Виникнення маси калібрувальних бозонів W- і Z, та ферміонів.

6. Методи контролю

Поточний контроль проводиться у вигляді експрес-контролю та на основі оцінювання практичних робіт здобувачів під час проведення занять, а

також самостійних робіт. Підсумковий контроль проводиться у вигляді екзамену.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Деякі питання електродинаміки високих енергій у речовині та високопродуктивні обчислення у теоретичній фізиці» згідно навчальної програми містить 7 тем. Темі розподілені по модулях відповідно: I модуль – 4 теми (від 1 до 4), II модуль – 3 теми (від 5 до 7). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та самостійні роботи.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Екзамен	100
T1-T4	T5-T7		
30	30		

T1, T2 ... – теми розділів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль засвоєння теоретичного матеріалу та виконання самостійних робіт. За ці види робіт здобувач може набрати 60 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за два модулі має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На екзамені здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, екзамен вважається не зданим. Бали, одержані на екзамені від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

8. Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90-100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

Критерії оцінювання

питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)

Екзаменаційний білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал

(вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

№	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
1	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
2	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
3	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
4	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
5	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
6	Невірна відповідь	0-5 %
7	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

1. D.H. Perkins. Introduction to High Energy Physics. 4th ed. – Cambridge University Press, 2000, 426 p.
2. Francis Halzen, Alan D. Martin. Quarks and leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics. – John Wiley & Sons, Inc., 1984, 396 p.
3. V.B. Berestetskii, E.M. Lifshitz, and L.P. Pitaevskii. Quantum Electrodynamics, volume 4 of Course of Theoretical Physics - Pergamon Press, Oxford, 1982, 667 p.
4. Ta-Pei Cheng, Ling-Fong Li. Gauge theory of elementary particle physics. Clarendon Press Oxford, 1982, 536 p.

Допоміжна література

1. Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder. An Introduction to Quantum Field Theory. -- Addison-Wesley Publishing Company, 1995, 842 p.
2. I.J.R. Aitchison, A.J.G. Hey. Gauge Theories in Particle Physics. 3^d ed. A Practical Introduction. Volume 1. From Relativistic Quantum Mechanics to QED – IoP, Bristol & Philadelphia, 2003, 406 p.

3. I.J.R. Aitchison, A.J.G. Hey. Gauge Theories in Particle Physics. A Practical Introduction. 3^d ed. Volume 2. Non-Abelian Gauge Theories: QCD and the Electroweak Theory – IoP, Bristol & Philadelphia, 2004, 450 p.
4. Quang Ho-Kim, Xuan-Yem Pham. Elementary particles and their interactions. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GmbH, 1998, 662 p.

Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Ресурс містить детальну інформацію про властивості всіх відомих на теперішній час елементарних частинок, основні фізичні закони в стислому вигляді, одиниці виміру, значення фундаментальних констант: <http://pdg.lbl.gov/>
2. Архів електронних препринтів в області фізики: <https://arxiv.org/>
3. База опублікованих статей і препринтів з фізики елементарних частинок, високих енергій і ядерної фізики: <http://inspirehep.net/>