

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова

Кафедра теоретичної фізики та астрономії

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи

О.В.Запорожченко О.В.Запорожченко

2020 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕОРІЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий) рівень – доктор філософії

Галузь знань 10 – природничі науки

(шифр і назва)

Спеціальність 104 - фізика та астрономія

(шифр і назва)

Освітня програма фізика та астрономія

Вид дисципліни вибіркова

Факультет математики, фізики, та інформаційних технологій

(назва факультету)

2020 / 2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою Радою факультету математики, фізики та інформаційних технологій «3» вересня 2020 року, Протокол №1

Розробники програми:

кандидат фізико-математичних наук, доцент Сушко М.Я.

Навчальна програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної фізики та астрономії Протокол № 1 від “31” серпня 2020 року

Завідувач кафедри

(підпис)

Адамян В. М.

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ:

Протокол № 1 від “ 3 ” вересня _____ 2020 року

Голова НМК

(підпис)

Ніцук Ю.А.

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Теорія елементарних частинок» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 104 – «Фізика та астрономія».

Освітньо-наукова програма: « Фізика та астрономія».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є:

надати майбутнім докторам філософії з фізики та астрономії необхідний мінімум знань і розуміння сучасних уявлень про будову матерії, закласти попередні вміння та навички кількісного опису її структурних елементів і фундаментальних взаємодій між ними в рамках калібрувальних теорій та спонтанного порушення локальної калібрувальної інваріантності.

Засвоєння фундаментальних фізичних основ теорії елементарних частинок, отримання практичних навичок використання її математичного апарату, що здобуваються в межах дисципліни «Теорія елементарних частинок», сприяють підготовці висококваліфікованих, конкурентоспроможних, інтегрованих у європейський та світовий науково-освітній простір фахівців, здатних до самостійної науково-дослідницької, науково-організаційної, педагогічно-організаційної та практичної діяльності у галузі природничих наук, викладацької роботи у закладах вищої освіти.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

засвоєння аспірантами базових понять і методів квантовопольового підходу до опису матерії, основних характеристик і структурних моделей елементарних частинок, властивостей фундаментальних взаємодій як калібрувальних полів, принципу спонтанного порушення калібрувальної симетрії та механізму Хіггса, основних положень квантової хромодинаміки і стандартної моделі електрослабкої взаємодії.

Інтегральна компетентність (ІК) – здатність розв’язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

Загальні компетентності:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1);
- Здатність управління інформацією (пошук, оброблення та аналіз інформації з різних джерел) (ЗК2) ;
- Здатність проведення самостійних досліджень (ЗК9).

Фахові компетентності:

- Здатність використовувати фундаментальні та практичні знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об’єктів Всесвіту (ФК2) ;
- Вміння зображувати і досліджувати можливі варіанти розширення Стандартної моделі фізики елементарних частинок на основі квантової теорії поля (ФК6) ;
- Усвідомлення мети й завдань сучасної фізики та астрономії, здатність вирішувати проблеми й задачі інноваційного характеру в одній із галузей фізики або астрономії (ФК9).

1.3. Кількість кредитів 3

1.4. Загальна кількість годин 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Нормативна/ <u>за вибором</u>
Денна форма навчання
Рік підготовки
2-й

Лекції
16 год.
Практичні/семінарські
14 год.
Лабораторні
-
Самостійна робота
60 год.
У тому числі індивідуальні завдання
-

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-науковою програмою «Фізика та астрономія» спеціальності 104 – «Фізика та астрономія» аспіранти можуть досягти наступних результатів навчання:

- Знати актуальні напрями наукових досліджень з фізики і астрономії та аналізувати історію розвитку фізики та астрономії в порівнянні з сучасною проблематикою науки,
- Вміти застосовувати спеціальні знання фізики при вирішенні задач астрофізики та космології.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

2 рік

Розділ 1. Елементи квантової теорії поля

Тема 1. Формалізм Лагранжа в теорії поля. Квантування вільних полів. Принцип найменшої дії та рівняння руху класичних релятивістських полів. Симетрії, теорема Нетер та динамічні інваріанти. Процедура канонічного квантування вільних полів.

Тема 2. Взаємодія полів. Матриця розсіяння. Поняття про матрицю розсіяння та її загальні властивості. Інваріантна теорія збурень та структура членів розкладу матриці розсіяння, їх графічне зображення. Матричні елементи матриці розсіяння. Основи діаграмної техніки Фейнмана. Імовірність каналів розсіяння, час життя, ефективний переріз розсіяння.

Розділ 2. Калібрувальні поля

Тема 3. Принцип локальної калібрувальної інваріантності. Глобальна калібрувальна інваріантність, закони збереження. Локальна калібрувальна інваріантність, компенсуючі калібрувальні поля. Електромагнітне поле як калібрувальне векторне безмасове поле.

Тема 4. Калібрувальні поля Янга-Мілса. Група SU(2) перетворень та неабелеві калібрувальні поля Янга-Мілса. Тензор напруженості, лагранжіан та рівняння руху вільних полів Янга-Мілса.

Розділ 3. Принципи квантової хромодинаміки

Тема 5. Кваркова модель. Складові моделі адронів. Кварки, квантові числа кварків. Трикваркова модель, симетрія SU(3)_c, мезонні та баріонні стани як кольорові мультиплети групи SU(3)_c. Важкі кварки.

Тема 6. Побудова кантової хромодинаміки. Лагранжіан вільних струмових кварків. Інваріантність відносно локальних калібрувальних перетворень групи SU(3)_c, неабелеві

калібрувальні поля, самодія, глюони. Лагранжіан квантової хромодинаміки. Асимптотична свобода та конфайнмент кварків.

Розділ 4. Принципи теорії електрослабкої взаємодії

Тема 7. Особливості й моделювання слабкої взаємодії. Нейтрино та антинейтрино, V-V лагранжіан контактного типу. Порушення парності, V-A форма слабкої взаємодії. Заряджені слабкі струми. Слабкі розпади частинок, змішування станів. Нейтральні слабкі струми. Спонтанне порушення симетрії, гоулдстонівські бозони, механізм Хіггса генерації маси частинок.

Тема 8. Стандартна модель електрослабкої взаємодії. Масивні поля Янга-Мілса. Стандартна модель Вайнберга-Салама для слабкої та електромагнітної взаємодій. Бозонний сектор. Бозон Хіггса. Лептонний сектор. Стала електромагнітної взаємодії, стала Фермі, кут Вайнберга. Узагальнення на слабку взаємодію кварків.

3. Структура навчальної дисципліни

Тема	Кількість годин					
	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Елементи квантової теорії поля						
Тема 1. Формалізм Лагранжа в теорії поля. Квантування вільних полів.	20	2	2			16
Тема 2. Взаємодія полів. Матриця розсіяння.	10	2				8
Розділ 2. Калібрувальні поля						
Тема 3. Принцип локальної калібрувальної інваріантності.	10	2	2			6
Тема 4. Калібрувальні поля Янга-Мілса.	12	2	2			8
Розділ 3. Принципи квантової хромодинаміки						
Тема 5. Кваркова модель.	8	2	2			4
Тема 6. Побудова квантової хромодинаміки.	10	2	2			6
Розділ 4. Принципи теорії електрослабкої взаємодії						
Тема 7. Особливості й моделювання слабкої взаємодії.	10	2	2			6
Тема 8. Стандартна модель електрослабкої взаємодії.	10	2	2			6
Усього годин	90	16	14			60

4. Теми практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Квантування вільних полів на прикладі скалярного поля. Теорема Нетер і динамічні характеристики поля.	2
2	Електромагнітне поле як калібрувальне безмасове векторне поле. Матриця розсіяння к квантовій електродинаміці. Діаграми Фейнмана.	2
3	Неабелеві калібрувальні поля Янга-Міллса. Тензор напруженості, лагранжіан рівняння руху. Випадок групи $SU(3)_c$.	2
4	Трикваркова модель. Побудова мультиплетів мезонів та баріонів: таблиці Юнга, повністю симетричні стани, стани зі змішаною симетрією та їх ортогоналізація, повністю антисиметричні стани..	2
5	Побудова лагранжіана квантової хромодинаміки.	2
6	Трансформаційні властивості рівняння Дірака. Білінійні інваріанти, їх поведінка при просторовій інверсії. V–A форма слабкої взаємодії.	2
7	Спонтанне порушення локальної калібрувальної симетрії $SU(2)$. Масивні калібрувальні бозони. Структура лагранжіана стандартної моделі Вайнберга–Салама електрослабкої взаємодії.	2
	РАЗОМ	14

5. Завдання для самостійної роботи

№	Назва теми	Кількість годин
1	Квантування вільного електромагнітного поля. Фотони, їх характеристики.	8
2	Рівняння Дірака, його властивості. Квантування вільного діраківського поля. Електрони і позитрони.	8
3	Математичні інструменти квантової теорії поля: комутатори, нормальний і хронологічний добутки, хронологічна згортка, теореми Віка. Їх використання при побудові діаграмної техніки.	8
4	Глобальні калібрувальні перетворення, інваріантність відносно них та закони збереження. Стабільність електрона та протона.	6
5	Спеціальні унітарні групи $SU(2)$ і $SU(3)$, матриці Паулі та Гелл-Манна.	8
6	Модель Сакати: псевдоскалярний октет і син глет мезонів, векторний октет і синглет мезонів, проблема баріонних станів.	4
7	Важкі кварки. Експериментальні свідчення на користь існування кварків і глюонів.	6
8	Спонтанне порушення симетрії: маси ферміонів та калібрувальних бозонів.	6
9	Експериментальні підтвердження стандартної моделі Вайнберга–Салама. Спостереження бозона Хіггса.	6
	РАЗОМ	60

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним і робочим планом

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються наступні форми навчального заняття: лекції, практичні заняття, самостійна робота. Під час проведення лекцій застосовуються пояснювально-ілюстративний, евристичний, репродуктивний методи навчання та метод проблемного викладення. Під час практичних занять використовуються репродуктивний та частково-пошуковий методи навчання. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод навчання.

8. Методи контролю

Формами контролю навчальних здобутків аспірантів є поточний контроль, що включає аудиторне опитування, перевірку конспекту лекцій; оцінку активності роботи на заняттях, оцінку самостійної роботи, та підсумковий семестровий контроль (залік).

Підсумкові бали для оцінки знань студентів за тему розраховуються таким чином:

№	Вид роботи	Форма контролю	Максимальне число балів
1.	Відвідування занять	Конспект	1
2	Аудиторна активність студента		1
3	Виконання домашніх завдань, самостійної роботи	Письмові розв'язки, усні відповіді	3
4	Сума		5

10. Схема нарахування балів

Поточний контроль аудиторної і самостійної робіт				Підсумкова контрольна робота (залік)	Підсумковий бал
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4		
10	10	10	10	60	100

9. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (залік) проводиться в письмовій формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 30 бальною шкалою. Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 30 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 25 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 23 бали. За кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 20 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.

Кількість балів, що аспірант отримує на заліку, є сумою балів, отриманих за кожне завдання залікового білету.

Підсумкова оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролів за шкалою, що наведена нижче.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка		
	За шкалою ЄКТС	Для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	A	Відмінно	зараховано
85-89	B	Добре	
75-84	C		
70-74	D	Задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	Незадовільно	не зараховано
1-34	F		

10. Рекомендована література Перелік навчально-методичної літератури

1. Основна література

1. А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1969.
2. А. И. Ахиезер, С. В. Пелетминский. Поля и фундаментальные взаимодействия. К., Наукова думка, 1986.
3. I. J. R. Aitchison, A. J. G. Hey. Gauge Theories in Particle Physics. Bristol and Philadelphia: IOP, 2003, 2004.
4. В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1980.
5. Н. Н. Боголюбов, Д. В. Шишков. Введение в теорию квантованных полей. М.: Наука, 1976.
6. Н. Н. Боголюбов, Д. В. Шишков. Квантовые поля. М.: Наука, 1980.
7. С. М. Биленький. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабого взаимодействия. М., Энергоатомиздат, 1990.
8. Дж. Бьеркен, С. Дрелл. Релятивистская квантовая теория. В 2-х томах. М.: Наука, 1978.
9. У. Гибсон, Б. Поллард. Принципы симметрии в физике элементарных частиц. М., Атомиздат, 1979.
10. А. С. Давыдов. Квантовая механика. М.: Наука, 1973.
11. Е. М. Лифшиц, А. П. Питаевский. Релятивистская квантовая теория. Часть 4. М., Наука, 1971.
12. Нгуен Ван Хьеу. Основы метода вторичного квантования. М.: Энергоатомиздат, 1984.
13. С. Огава, С. Савада, М. Накагава. Составные модели элементарных частиц. М., Мир, 1983.
14. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. М., Энергоатомиздат, 1991.
15. Л. Райдер. Элементарные частицы и симметрия. М., Наука, 1983.
16. А. Садбери. Квантовая механика и физика элементарных частиц. М., Мир, 1989.
17. А. А. Соколов, И. М. Тернов, В. Ч. Жуковский, А. В. Борисов. Квантовая электродинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983.
18. Ф. Хелзен, А. Мартин. Кварки и лептоны. М., Мир, 1987.
19. К. Хуанг. Кварки, лептоны и калибровочные поля. М., Мир, 1985.

20. Т.-П.Ченг, Л.-Ф. Ли. Калибровочные теории в физике элементарных частиц. М., Мир, 1987.

2. Додаткова література

21. В. Б. Берестецкий. Проблемы физики элементарных частиц. М., Наука, 1979.
22. К. Готтфрид, В. Вайскопф. Концепции физики элементарных частиц. М., Мир, 1988.
23. Ц. Ли, Ц. Ву. Слабые взаимодействия. М., Мир, 1968.
24. К. Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. В 2-х томах. М.: Энергоатомиздат, 1983.
25. Л. Б. Окунь. Физика элементарных частиц. М., Наука, 1988.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <http://arxiv.org/>
2. Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/>