Квантування калібрувальних теорій

РОЗДІЛ І. КАЛІБРУВАЛЬНІ ТЕОРІЇ ПОЛЯ В ФОРМАЛІЗМІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ

Тема 1.1. Представлення матричних елементів оператора еволюції у вигляді інтеграла по траєкторіям, генеруючий функціонал для функцій Гріна

1) Пропагатор Фейнмана та його представлення в вигляді інтеграла по траєкторіям.
2) Аналітичний вигляд пропагатора Фейнмана в випадку лагранжіанів квадратичних по координатах і швидкостях.
3) Інтеграли по траєкторіям та детермінанти диференційних операторів, представлення детермінантів через узагальнену дзета-функцію.

Рекомендована література [1-3].

Тема 1.2. Функціональне інтегрування в квантовій теорії поля

1) Генеруючий функціонал, або амплітуда переходу вакуум – вакуум, в квантовій теорії поля та його обчислення у випадку вільного скалярного поля.
2) Гаусові інтеграли для n змінних та їх узагальнення на випадок функціонального інтегрування.
3) Алгебра Грасмана, функціональне інтегрування по змінним Грасмана.

Тема 1.3. Квантування сингулярних гамільтонових систем – загальна схема (метод Дірака-Фаддеєва) .

1) Динаміка сингулярних гамільтонових систем.
2) В’язі першого та другого роду, редукований фазовий простір, калібрувальні перетворення, дужка Дірака.
3) Запис функціонального інтегралу в випадку сингулярних гамільтонових систем.
4) Приклади квантування сингулярних гамільтонових систем: вільна релятивістська частинка, релятивістська струна, вільне електромагнітне поле.
5) Метод Фаддеєва-Попова на прикладі квантування вільного електромагнітного поля.

Рекомендована література [1, додаткова 4,5].

Тема 1.4. Класичні поля Янга-Мілса, лагранжіан, рівняння руху

1) Узагальнення локальних калібрувальних перетворень на випадок довільної неабелевої групи, коваріантна похідна, тензор напруженості полів Янга-Мілса, тотожність Бьянкі.

2) Лагранжіан для полів Янга-Мілса та рівняння руху, топологічний доданок в дію полів Янга-Мілса.

Тема 1.5. Квантування полів Янга-Мілса за допомогою функціонального інтегралу

1) Детермінант Фаддеєва-Попова та його явний вигляд у випадку лоренцевої, кулоновської і аксіальної калібровок.
2) Представлення детермінанта Фаддеєва-Попова у вигляді функціонального інтегралу по допоміжним ("духовим") полях.
3) Загальний вигляд функцій Гріна в квантовій хромодинаміці.
4) Закони збереження в квантовій теорії: їх запис на мові кореляційних функцій, контактні члени.
5) Виведення квантових рівнянь руху для функцій Гріна за допомогою заміни змінних в функціональному інтегралі.

Рекомендована література [1,2, додаткова 4,5].

РОЗДІЛ II. ПРАВИЛА ФЕЙНМАНА В ТЕОРІЇ ПОЛЯ

Тема 2.1. Правила Фейнмана в теорії скалярного поля.

Теорема Віка, пропагатор поля, його Фур'є перетворення, графічне зображення. Формулювання правил Фейнмана в теорії скалярного поля зі взаємодією $\lambda\phi^4/4!$, визначення симетрійних коефіцієнтів заданої діаграми.

Тема 2.2. Правила Фейнмана в квантовій електродинаміці.

Розклад функцій Гріна по теорії збурень в формалізмі функціонального інтегрування. Правила Фейнмана в квантовій електродинаміці в конфігураційному і імпульсьному просторі.

Тема 2.3. Правила Фейнмана в квантовій хромодинаміці.

Фіксація калібровки, пропагатори полів Янга-Мілса, ферміонних та "духових" полів. Вершини взаємодії та їх графічне зображення.

Рекомендована література [1-3].

Контрольні запитання до розділів I та II

1. Гаусові інтеграли для n змінних та їх узагальнення на випадок функціонального інтегрування.
2. Дужка Дірака та її зміст.
3. Лагранжіан та рівняння руху для полів Янга-Мілса.
4. Загальний вираз функцій Гріна в квантовій хромодинаміці.

5. Класифікація класичних алгебр Лі, які мають застосування в калібрувальних теоріях.
6. Детермінант Попова – Фаддеєва в теорії Янга – Мілса.
7. Приклади калібровок в теорії Янга – Мілса (Ландау, Фейнмана, кулонівська та аксіальна).
8. Функціонально – диференційне рівняння для генеруючого функціонала.

Задачі до розділів I та II

1. В четвертому порядку теорії збурень відносно константи зв'язку електрон-фотонної взаємодії намалювати всі діаграми Фейнмана, які дають вклад у власну енергію електрона і фотона.
2. Виписати для кожної з них явний вираз в термінах електронного і фононного пропагаторів.
3. У другому порядку теорії збурень намалювати всі діаграми Фейнмана, які дають вклад у власну енергію глюонів.
4. Виписати явний вираз в термінах кваркового, глюонного і "духового" пропагаторів

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. М.Пескин, Д.Шредер. Введение в квантовую теорию поля. Москва-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001.
2. С. Вейнберг, Квантовая теория поля, т. 1-2. М.: Физматлит, 2003.
3. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер. Квантовая теория поля, т. 1-2. М.: Мир, 1984.
4. Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей. М.: Наука, 1983.
5. О.Л. Ребенко, Основи сучасної теорії взаємодіючих квантованих полів. Наукова Думка, Київ, 2007 р.

Додаткова:

1. С. Швебер. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля. М.: Издательство иностранной литературы, 1963.
2. Дж. Бьеркен, С. Дрелл. Релятивистская квантовая теория, т. 1-2 М.: Наука, 1978.
3. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1981.
4. П. Рамон, Теория поля. Современный вводный курс. М.: Мир, 1984.
5. А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев, Введение в квантовую теорию калибровочных полей. М.: Наука, 1978.
6. М.И.Высоцкий, Лекции по теории электрослабых взаимодействий. ФИЗМАТЛИТ, 2011.