

Перенормування діаграм Фейнмана в квантовій електродинаміці

Розділ III. РОЗБІЖНОСТІ ФУНКЦІЙ ГРИНА ТА ЇХ УСУНЕННЯ В ДРУГОМУ ПОРЯДКУ ТЕОРІЇ ЗБУРЕНЬ

Тема 3.1. Розбіжності функцій Гріна в другому порядку теорії збурень в квантовій електродинаміці

- 1) Одержання квантових поправок до функцій Гріна в другому порядку теорії збурень в квантовій електродинаміці з функціонального інтегралу.
- 2) Явний вираз для власної енергії електрона, поляризації вакууму та вершинної функції в імпульсному просторі та їх графічне зображення за допомогою правил Фейнмана.

Рекомендована література [1,2, 3, додаткова 1,2,3].

Тема 3.2. Регуляризація Паулі-Віларса та розмірна регуляризація в теорії поля. Головні ідеї теорії перенормувань .

- 1) Засоби регуляризації розбіжних інтегралів: регуляризація Паулі-Віларса та розмірна регуляризація.
- 2) Програма перенормувань в квантовій теорії поля на прикладі скалярних полів з взаємодією. Контрчлени.

Рекомендована література [1,2,3, додаткова 1,2,3].

Тема 3.3. Обчислення діаграм власної енергії електрона і поляризації вакууму в другому порядку теорії збурень в квантовій електродинаміці.

- 1) Тотожності Фейнмана для інтегралів петльових діаграм, основні етапи розрахунків поляризації вакууму і власної енергії електрона в другому порядку теорії збурень в квантовій електродинаміці в методі розмірної регуляризації.
- 2) Виділення розбіжних і скінчених частин діаграм.

Рекомендована література [1,2,3, додаткова 1,2,3].

Тема 3.4. Обчислення уявних частин діаграм та їх фізичний зміст.

- 1) Модифікація закону Кулона при врахуванні поляризації вакууму, асимптотична поведінка закону Кулона на малих і великих відстанях.
- 2) Поняття ефективного заряду як функції відстані.

3) Потенціал Юлінга та його вплив на зсув енергетичних рівнів воднеподібних атомів.

Рекомендована література [1,2, 3, додаткова 1,2,3].

Тема 3.5. Перенормування заряду і маси електрона в другому порядку теорії збурень в квантовій електродинаміці.

- 1) Проведення перенормування заряду і маси електрона в другому порядку теорії збурень в квантовій електродинаміці.
- 2) Зв'язок між "голими" та фізичними масами і зарядами електрона.

Рекомендована література [1,2, 3, додаткова 1,2,3].

Тема 3.6. Обчислення вершинної функції, аномальний магнітний момент електрона

- 1) Вершинна функція, виділення розбіжної частини, основні етапи розрахунку скінченної частини.
- 2) Одержання аналітичного виразу для поправки до магнітного моменту електрона - аномальний магнітний момент електрона (формула Швінгера).
- 3) Загальний вираз для формфакторів електрона на масовій оболонці.
- 4) Аномальний магнітний момент електрона в восьмому порядку теорії збурень – теоретичне значення та співставлення з експериментом, знаходження найбільш точного значення постійної тонкої структури.

Рекомендована література [1,2, 3, додаткова 1,2,3].

Тема 3.7. Лембівській зсув енергетичних рівнів воднеподібних атомів

- 1) Основні ефекти, що дають внесок в лембівській зсув енергетичних рівнів воднеподібних атомів, їх чисельна оцінка та співставлення з експериментом.

Рекомендована література [1,2, 3, додаткова 1,4].

Тема 3.8. Індекс розбіжності фейнманівських діаграм

- 1) Примітивно-розбіжні діаграми.
- 2) Поняття індексу розбіжності фейнманівських діаграм та його обрахування в скалярних теоріях і квантовій електродинаміці.
- 3) Класифікація примітивно-розбіжних діаграм, вплив симетрій теорії на індекс розбіжності, теорема Фаррі в квантовій електродинаміці.

- 4) Усунення розбіжностей за допомогою контрчленів, перенормування маси, заряду і хвильової функції електрона.

РОЗДІЛ IV. Рівняння Швінгера-Дайсона та ренормалізаційна група

Тема 4.1. Інтегральні рівняння Швінгера-Дайсона

- 1) Виведення інтегральних рівнянь Швінгера-Дайсона за допомогою сумувань діаграм теорії збурень.
- 2) Виведення інтегральних рівнянь Швінгера-Дайсона з функціонального інтегралу (функціонально-диференціальне рівняння для генеруючого функціоналу).

Рекомендована література [1,2, 3, 5, додаткова 1,2].

Тема 4.2. Тотожності Уорда-Такахаши.

- 1) Поперечність поляризації вакууму та векторна тотожність для вершинної функції
- 2) Аномальна тотожність для кірального струму – виведення методом Фуджікави.

Рекомендована література [1,2, 3, додаткова 4,5].

Тема 4.3. Рівняння ренормалізаційної групи для функцій Гріна

- 1) Виведення рівнянь ренормалізаційної групи для функцій Гріна.
- 2) Розв'язки рівнянь в загальному випадку.
- 3) Бета функція Калана-Симанзіка, аномальні розмірності, фіксовані точки рівнянь ренормалізаційної групи.
- 4) Асимптотична поведінка ефективних констант взаємодій - нуль-заряд в квантовій електродинаміці і асимптотична свобода в квантовій хромодинаміці.
- 5) Ефективна константа взаємодії в квантовій хромодинаміці в двохпетльовому наближенні.

Рекомендована література [1,2, 3, 4, додаткова 4,5].

Тема 4.4. Асимптотична поведінка ефективних констант взаємодій

- 1) Асимптотична поведінка ефективних констант взаємодій - нуль-заряд в квантовій електродинаміці і асимптотична свобода в квантовій хромодинаміці.
- 2) Ефективна константа взаємодії в квантовій хромодинаміці в двохпетльовому наближенні.

Рекомендована література [1,2,3,4, додаткова 4,5].

Контрольні запитання до розділів III та IV

1. Діаграма власної енергії електрона в другому порядку теорії збурень в КЕД.
2. Діаграма поляризаційного оператора фотона в другому порядку теорії збурень в КЕД.
3. Рівняння Швінгера – Дайсона (графічне виведення).
4. Функціонально-диференційна тотожність для генеруючого функціоналу. Векторна тотожність Уорда – Такаhashi.
5. Функціонально-диференційна тотожність для генеруючого функціоналу. Доведення поперечності поляризаційного оператора.
6. Аксіально-векторна тотожність Уорда – Такаhashi.
7. Фіксовані точки ренормгрупової бета-функції.

Задачі до розділів III та IV

1. Порахувати індекс розбіжності діаграм для квантової електродинаміки в просторі $2+1$.
2. Розв'язати рівняння ренормалізаційної групи для константи взаємодії в теорії скалярного поля.
3. Порахувати розбіжну частину однопетльової поправки до константи взаємодії в теорії дійсного скалярного поля та провести перенормування константи взаємодії.
4. Довести тотожності Фейнмана для інтегралів петльових діаграм.

Теми для написання рефератів

1. Правила Фейнмана і діаграми Фейнмана в квантовій електродинаміці.
2. Класичні поля Янга-Мілса. Відомі розв'язки нелінійних рівнянь Янга-Мілса.
3. Квантування полів Янга-Мілса.
4. Правила Фейнмана і діаграми Фейнмана в квантовій хромодинаміці.
5. Поляризація вакууму в квантовій електродинаміці.
6. Вільна енергія електрона в квантовій електродинаміці.
7. Теорія збурень в квантовій теорії поля на прикладі самовзаємодіючого скалярного поля.
8. Вивід формули для підрахунку симетричних коефіцієнтів в теорії прикладі самовзаємодіючого скалярного поля.

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.