

НАРУШЕНИЕ ПРИЧИННОСТИ В ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕОРИЯХ

Сеидов Т.З. (НИУ ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Иорш И.В.
(НИУ ИТМО)

Рассматривается проблема нарушения причинности в теориях поля спина 1 с неквадратичными членами в лагранжиане и массой. На примере модели с кубическим членом показано, что при определённом соотношении массы и константы самодействия поля, возникает нарушение причинности. При квантовании теории это приводит к тому, что в силу перенормировки константы самодействия и массы, возникает диапазон энергий, в котором нарушена причинность. Обсуждаются прикладные аспекты рассматриваемого явления.

Введение. Существует известная проблема Вело-Цванцигера, сущность которой состоит в том, что массивные поля со спином выше 1, минимально взаимодействующие с электромагнитными полями (minimal coupling), описываются негиперболическими уравнениями движения, в результате чего нарушается принцип причинности. В своих статьях Вело и Цванцигер показали, что причинность таким же образом нарушается и в случае полей со спином 1, имеющих самодействие (то есть неквадратичные члены в гамильтониане, в которых поле взаимодействует само с собой) и массу. Однако эти результаты менее известны и не получили своего развития. В описываемой работе предлагается развитие данных идей.

Основная часть. К рассмотрению предлагается модель теории поля спина 1 с добавками в виде кубического по полю члена и массового члена. Как оказывается, в такой модели существует диапазон соотношения между константой перед кубическим членом (константой самодействия — K_3) и массой, в котором уравнения движения не являются гиперболическими, и, как следствие, нарушается принцип причинности по механизму Вело-Цванцигера.

При квантовании, однако, из-за процедуры перенормировки, K_3 и масса не являются постоянными, а являются функциями от энергетического масштаба (импульса квантов поля). Таким образом, могут появиться диапазоны уже в энергетическом масштабе, в которых нарушается принцип причинности, если K_3 и масса как функции импульсов имеют пересечения. Размерный анализ показывает, что в однопетлевом приближении индексы расходимости диаграмм, отвечающих за перенормировку массы и K_3 — 2 и 1 соответственно, поэтому можно ожидать различного поведения ренормировочных бета-функций для этих двух величин, а значит и сами величины могут иметь пересечения. Сейчас работа на стадии подсчёта точных бета-функций.

Выводы. Что означает данный эффект с точки зрения эксперимента? Поскольку мы считаем, что принцип причинности — один из краеугольных камней физики, разумно ожидать, что он не будет нарушен. Это значит, что в энергетических диапазонах, где причинность может быть нарушена описываемым способом, либо 1) система больше не может описываться рассматриваемой теорией, либо 2) поле не может распространяться. В любом случае, было бы интересно отыскать материал, эффективная квантовая теория для которого обладает описываемой особенностью.

Если выполняется вариант 1), такой материал на определённом энергетическом масштабе должен произвести некий фазовый переход, после которого система нуждается в другом описании. Хорошим кандидатом является сверхпроводник. Во-первых, ввиду

наличия массы и неквадратичного члена в лагранжиане, нам необходима система с нарушенной калибровочной инвариантностью, в сверхпроводнике она нарушена. Во-вторых, необходимо наличие некоторого масштаба энергий, после которого система перестраивается, в сверхпроводнике такой масштаб тоже имеется — это критическая температура.

В случае выполнения варианта 2) получается, что существует некоторый материал, который абсолютно непроницаем для волн выше или ниже определённых частот (что, опять же, несколько напоминает эффект Мейснера в сверхпроводнике). Такой материал мог бы иметь широкое применение как идеальный экран.

Сеидов Т.З. (автор)

Подпись

Иорш И.В. (научный руководитель)

Подпись