

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Деркачева Сергея Эдуардовича на диссертацию Молоткова Юрия Георгиевича на тему: «Исследование перехода в сверхтекучее состояние в формализме временных функций Грина при конечной температуре», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

### 1.3.3. Теоретическая физика.

Диссертация Ю.Г. Молоткова посвящена изучению критических явлений, а именно непрерывных фазовых переходов, также известных как фазовые переходы второго рода. В диссертации проводится анализ системы, в которой имеет место явление сверхтекучести. Более детально, исследуется вопрос о том, каков динамический критический индекс  $z$  для данной системы. Критический динамический индекс  $z$  отвечает за то, как ведет себя время релаксации системы при выведении системы из равновесного состояния. Данная величина является экспериментально измеримой, но из-за того что эксперименты по определению критических индексов, даже статических, являются крайне нетривиальными, до сих пор нет единого мнения, чему равен критический индекс  $z$  для таких систем.

При наличии непрерывного фазового перехода, различные физические величины имеют скейлинговую форму вблизи окрестности точки фазового перехода. Степени, которые определяют поведение этих величин, называются критическими индексами. Количественное описание критического поведения и вычисление критических индексов традиционно использует технику ренорм-группы. Ренорм-группа изначально была предложена в 50-х годах, как средство вычисления нетривиальной асимптотики функций Грина, из которых можно получить нужные критические индексы. Изначально этот метод был разработан для типичных для того времени квантово-полевых моделей. Только спустя несколько лет было обнаружено, что задачи, которые ставятся в области критических явлений, также могут быть исследованы методами квантовой теории поля и, в частности, методом ренорм-группы. Это позволило применить технику ренорм-группы и вычислить статические критические индексы для разного класса моделей. Расчеты сделанные при помощи этого метода, находятся в очень хорошем согласии с экспериментом и компьютерным моделированием. Однако задача вычисления динамических индексов является гораздо более сложной.

Переход в сверхтекучее состояние для гелия-4 и схожие системы почти всегда описывались на основе моделей стохастической динамики. Эти модели строятся на основе феноменологических соображений и их классификация предложена в фундаментальной работе Hohenberg P.C, Halperin B.I 1977 года. Однако в вопросе о том, какая именно модель является адекватной для описания данного явления, общепринятого ответа пока нет. Два основных кандидата — модели E и F стохастической динамики. Из-за того, что вычисления в этих моделях очень сложны из-за наличия множества вершин взаимодействия и пропагаторов моделей, до сих пор не выяснено, какая из фиксированных точек отвечает фазовому переходу. Это связано с тем, что вычисление поправочных индексов  $\omega$ , которые определяют устойчивость фиксированной точки намного сложнее чем вычисление бета-функций. Решение данной проблемы приводится в диссертации Ю.Г. Молоткова.

Диссертация Ю.Г. Молоткова состоит из введения, трех глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Во введении формулируется постановка задачи, приведен краткий обзор результатов предшественников автора в данной области и описание методов, используемых в последующих вычислениях.

В диссертации Ю.Г. Молоткова построена микроскопическая теория, пригодную для описания данного рода явлений. В первой главе развивается формализм временных функций Грина при конечной температуре. Проведен анализ появляющихся расходимостей и предложен метод их регуляризации. Построено действие ИК эффективной модели, пригодное для последующего ренорм-группового анализа.

Проводится анализ основных объектов квантовой теории поля, строятся соответствующие объекты:  $n$ -точечные функции Грина, выводится, в наиболее общей форме, теория возмущений для них и лишь в самом конце конкретизируется форма гамильтониана. Далее проводится анализ возникающих расходимостей, предлагается способ их регуляризации, обсуждается физический смысл регуляризатора.

Во второй главе показано, что построенная ИК эффективная теория описания динамики фазового перехода в сверхтекучее состояние является мультипликативно перенормируемой. Ренормгрупповой анализ в первом нетривиальном порядке теории возмущений привел к удивительному результату. Единственная ИК устойчивая фиксированная точка дала значение динамического критического индекса  $z$ , который совпал со значением этого индекса двух-компонентной модели  $A$  стохастической динамики. Также был проведен расчет устойчивости фиксированной точки во втором нетривиальном порядке теории возмущений. Следует отметить, что для вычисления двух- и трех-петлевых диаграмм в рассматриваемой модели был усовершенствован метод вычисления диаграмм в координатно-временном представлении, продемонстрирована его преимущество перед методом Sector-decomposition. Результаты расчетов поправочных вкладов в индексы  $\omega$  показали, что в реальной размерности пространства соответствующие асимптотические ряды требуют пересуммирования. Произведено пересуммирование получившихся результатов методом Борель-конформ преобразования с учетом асимптотики высоких порядков 2-х компонентой модели  $A$ .

Совпадение вычисленного динамического критического индекса с таковым в модели  $A$  стимулировало более детальный анализ модели  $F$  стохастической динамики. В третьей главе, рассматривается влияние сжимаемости на критическое динамическое поведение модели  $F$ . Показано, что введение ненулевой сжимаемости приводит к тому, что соответствующая ИК эффективная модель редуцируется до действия, которое эквивалентно модели  $A$  стохастической динамики. Это объяснило неожиданный результат вычисления динамического критического индекса  $z$ .

В заключении кратко сформулированы основные результаты, полученные в диссертации. В приложении приведены громоздкие результаты вычислений диаграмм.

Диссертация является законченным оригинальным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Достоверность полученных результатов обеспечивается, как использованием мощного развитого аппарата квантовой теории поля, так и сравнением с результатами, полученными для феноменологических теорий стохастической динамики. Все основные результаты диссертации являются новыми, они современно и полно опубликовано в зарубежных и отечественных журналах, входящих в базы WoS, РИНЦ и представлены на научных конференциях и семинарах.

Диссертация Молоткова Юрия Георгиевича на тему: «Исследование перехода в сверхтекучее состояние в формализме временных функций Грина при конечной температуре» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Молотков Юрий Георгиевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета

доктор физико-математических наук,

Санкт-Петербургское отделение Математического институт им. В.А Стеклова РАН  
(наб. р. Фонтанки 27, Санкт-Петербург, 191023),  
Лаборатория математических проблем физики, в.н.с



Деркачев С.Э.

01.03.2022