

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета АНТОНОВА Николая Викторовича 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 Молоткова Юрия Георгиевича посвящена исследованию критического поведения системы бозе-частиц вблизи точки фазового перехода в сверхтекучее состояние. Основываясь на микроскопической модели неидеального бозе-газа при конечной температуре, диссертант строит эффективную модель взаимодействия инфракрасно-существенных переменных вблизи критической точки. Выполненный ренормгрупповой анализ полученной модели показывает, что её критическое поведение описывается классом универсальности известной динамической модели А, что позволяет найти описывающий динамику флуктуаций критический индекс z с высокой точностью.

Многочисленные физические системы самой разнообразной природы демонстрируют интересное сингулярное поведение в окрестности их критических точек (точек фазовых переходов II рода). Термодинамические и корреляционные функции обнаруживают там степенное поведение, а соответствующие показатели (критические индексы) универсальны в том смысле, что зависят лишь от глобальных характеристик системы, таких как размерность пространства, размерность параметра порядка, симметрия. Одной из важнейших задач теории является обоснование такого поведения и вычисление критических индексов в рамках какой-либо последовательной теории возмущений. Наиболее эффективным здесь оказался метод ренормализационной группы, в котором возможные типы критического поведения (классы универсальности) ассоциированы с инфракрасно-устойчивыми неподвижными точками некоторых мультипликативно-ренормируемых теоретико-полевых моделей. Типичные фазовые переходы описываются классом универсальности $O(n)$ -симметричной Φ^4 -модели.

Динамические аспекты критического поведения гораздо более многообразны и менее изучены даже для равновесных систем. До сих пор нет ясности, какой динамической моделью - E или F - описывается фазовый переход бозе-жидкости в сверхтекучее состояние, тогда как давно установлено, что его статика соответствует комплексному варианту $O(2)$ -симметричной Φ^4 -модели.

В диссертации предпринята успешная попытка построения эффективной модели взаимодействия инфракрасно-существенных длинноволновых мод исходной микроскопической теоретико-полевой модели, а именно модели неидеального квантового бозе-газа с парным взаимодействием при конечной температуре. Для этого использован математический формализм Швингера-Келдыша, позволяющий изучать динамические (разновременные) функции Грина для большого канонического ансамбля. Построенная таким образом диаграммная теория возмущений порождает некоторые необычные расходимости, которые регуляризуются введением затухания. В результате константы связи модели оказываются комплексными, что существенно усложняет её дальнейший анализ. Этим вопросам посвящена глава 1.

На основе анализа различных типов расходимостей в полученной таким образом теории возмущений, во второй главе диссертант строит эффективную модель для описания окрестности точки фазового перехода. Для этого было необходимо выделить инфракрасно-существенные длинноволновые моды, перейти к более удобным переменным, идентифицировать и отбросить “лишние” несущественные вклады, а также должным образом выбрать регуляризацию, чтобы обеспечить мультипликативную ренормируемость окончательной модели. Выполненный затем ренормгрупповой анализ показал, что соответствующие уравнения ренормализационной группы имеют единственную притягивающую неподвижную точку, которая и соответствует фазовому переходу.

Обнаружено, что в данной неподвижной точке модель фактически совпадает с хорошо изученной моделью A критической динамики, для которой

критический индекс z хорошо известен: ранее он был вычислен в четвёртом порядке ϵ -разложения, дополненного различными типами суммирования асимптотических рядов. Прямой расчёт индекса z в ведущем порядке непосредственно в новой модели подтвердил это совпадение. Тем самым, получена новая надёжная оценка этого индекса для “сверхтекучего” перехода.

Полученные результаты находятся в кажущемся противоречии с обычным представлением о том, что динамика сверхтекучего перехода описывается моделями E или F. Этот вопрос подробно обсуждается в главе 3, где отмечено, что при выводе таких моделей бозе-жидкость фактически считается несжимаемой, что является самосогласованным предположением. Однако свойство несжимаемости не следует автоматически из микромодели, а формально инфракрасно-несущественные вклады в функционале действия, описывающие поправки на сжимаемость, фактически таковыми не являются, так как входят в квадратичную часть и определяют пропагаторы, а не вершины диаграмм теории возмущений. Используя самосогласованный подход, основанный на исследовании инфракрасной существенности всей совокупности пропагаторов модели, диссертант показал, что влиянием сжимаемости в общем случае нельзя пренебречь, что делает неустойчивыми неподвижные точки, найденные в рамках “усечённых” моделей E и F.

Диссертация является законченным оригинальным научным исследованием, выполненным на высоком уровне, а её результаты и развитые в ней методы, несомненно, найдут применение в дальнейших исследованиях в области критического поведения и фазовых переходов. Все основные результаты своевременно и полно опубликованы в ведущих российских и международных научных журналах, то есть прошли необходимую апробацию. Достоверность результатов подтверждается корректным использованием современных математических методов квантовой теории поля и статистической физики. Существенных замечаний к тексту работы у меня нет; он написан подробно и ясно.

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

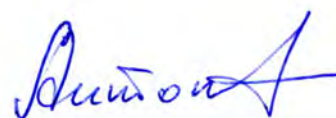
ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Молотков Юрий Георгиевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Председатель диссертационного совета

Доктор физико-математических наук,

старший научный сотрудник,

профессор СПбГУ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Antonov N. V.', with a stylized flourish at the end.

Антонов Н. В.

Дата 22.02.2022