

Отзыв

официального оппонента д.ф.-м.н, проф. Прудникова Павла Владимировича на диссертационную работу Лебедева Никиты Михайловича «Ренормализационная группа в некоторых моделях критического состояния и стохастической динамики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика»

Диссертационная работа Никиты Михайловича Лебедева посвящена исследованию скейлингового поведения ряда моделей равновесного критического поведения и стохастической динамики методами квантовополевой ренормгруппы. Данный подход основывается на известном факте эквивалентности некоторых задач статистической физики моделям квантовой теории поля (КТП) и позволяет использовать развитый математический аппарат КТП, разработанный во второй половине прошлого века в связи с задачами физики элементарных частиц, для вычисления универсальных скейлинговых характеристик в рамках регулярной теории возмущений. Тем не менее, на практике формальный параметр разложения зачастую оказывается отнюдь не мал, и возникает задача исследования сходимости рядов теории возмущений. Известно, что в большинстве моделей данные ряды носят асимптотический характер, а для получения с их помощью адекватной физической информации о критических режимах модели требуется вычисление параметров асимптотики и применение специальных методов суммирования.

Подобный подход уже несколько десятилетий с успехом применяется для изучения поведения различных физических систем в окрестности их критических точек. Тем не менее, в некоторых интересных случаях, например для систем со сложной кристаллографической структурой или систем частиц с дополнительными степенями свободы, описание с помощью хорошо изученных моделей оказывается не вполне адекватным. Как следствие, требуется разработка и изучение новых моделей с параметрами порядка, устроенными более сложным образом. Исследование таких моделей с тензорным параметром порядка является одной из целей данной диссертации.

Другой проблемой, рассматриваемой в данной работе, является исследование асимптотических режимов ряда стохастических моделей эволюции различных границ, и изучение их зависимости от выбора формы случайного шума. Обычно случайные флуктуации в подобных задачах моделируются с помощью гауссово-распределенного случайного шума с нулевым временем корреляции и нулевой корреляционной длиной. Такой выбор хорошо подходит для описания случайного выпадения субстанций, образующих границу. В представленной диссертации рассматривается ситуация, когда внешнее воздействие на изучаемую систему считается в среднем постоянным, а источником шума служат неоднородности, «вмороженные» в сами субстанции, образующие границу.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 107 наименований.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, ее научная новизна и значимость, формулируются цели и задачи исследования. Сформулированы выносимые на защиту положения, приводится список школ и конференций, на которых происходила апробация работы, и список публикаций автора по теме исследования.

В первой главе приводятся основные сведения о математическом аппарате квантовой теории поля применительно к равновесным задачам критического поведения. Формулируется общий вид подобной задачи и правила построения диаграммной техники. Вводится понятие канонической

размерности параметров модели, и объясняется, как с его помощью производится анализ структуры ультрафиолетовых (УФ) расходимостей. Описывается систематический метод их устранения с помощью мультипликативной ренормировки, и приводится вывод уравнения ренормгруппы. Приводится понятие фиксированной точки, и на известном примере парного коррелятора модели ϕ^4 демонстрируется ее связь с возможностью выхода в критический режим с соответствующими скейлинговыми показателями.

Вторая глава посвящена изучению двух равновесных моделей критического поведения. В начале главы приводится краткая историческая справка относительно теоретического изучения фазового перехода в сверхпроводящее состояние, вводящая в проблематику задачи. После этого формулируется $U(n)$ -симметричная модель с комплексным антисимметричным тензорным параметром порядка с минимально введенным взаимодействием с магнитным полем. Показана перенормируемость данной модели. В однопетлевом приближении в рамках ϵ -разложения обнаружены две новые фиксированные точки, с ненулевым фиксированным значением электрического заряда, которые, в случае достаточно большого числа компонент поля параметра порядка, лежат в физической области параметров. На однопетлевом уровне они обе являются инфракрасно (ИК) неустойчивыми, что соответствует невозможности фазового перехода второго рода.

Далее, формулируется $O(n)$ -симметричная модель с чисто вещественным антисимметричным тензорным параметром порядка. Данная модель оказывается несводимой к аналогичной комплексной модели, а потому требует отдельного рассмотрения. Ренормгрупповые (РГ) функции модели вычисляются с четырехпетлевой точностью в рамках двух различных схем перенормировки: схеме минимальных вычитаний и схеме перенормировки в фиксированной размерности пространства. В обоих случаях в модели обнаружены три фиксированных точки, две из которых существуют только в случае $n=4$. Для ϵ -разложений, получаемых в схеме минимальных вычитаний, установлен их асимптотический характер. С помощью модифицированного метода инстантонного анализа явно найдены параметры асимптотики, которые в дальнейшем использовались для получения численных значений критических индексов посредством пересуммирования ϵ -разложений с помощью конформного преобразования Бореля. В рамках второго подхода, численные значения получались путем прямого суммирования псевдо- ϵ -разложений. Полученные результаты оказываются самосогласованными. В рамках обоих подходов в случае $n=4$ одна из точек оказывается ИК притягивающей.

Примечательным представляются тот факт, что характер устойчивости неподвижных точек, существующих только в случае $n=4$, качественно меняется при переходе от однопетлевого к четырехпетлевому приближению. Точка, являющаяся ИК-устойчивой в главном приближении, после учета старших порядков теории возмущений оказывается седловидной, в то время как седловидная в главном приближении точка в итоге оказывается отвечающей за возможное скейлинговое поведение функций Грина. Таким образом, по мере отдаления размерности пространства от его логарифмического значения данные точки «обмениваются» своими свойствами устойчивости.

Третья глава посвящена формулировке стохастических моделей, описывающих случайный рост и эволюцию границ и вопросам их сведения к моделям КТП. Обсуждается вопрос о выборе формы случайного шума, наиболее полно описывающего те или иные аспекты внешнего воздействия на систему, и то, как конкретный выбор влияет на принадлежность модели к различным классам универсальности. Приводится формулировка «замороженного» и «статического» случайных шумов. Кратко излагается метод сведения стохастического уравнения к модели КТП с удвоенным

числом полей, а так же приводятся особенности анализа структуры расходимостей в подобных моделях. Также, обсуждается влияние выбора формы шума на данный анализ.

В четвертой главе изучаются возможные асимптотические режимы четырех моделей эволюции случайной границы со «статическим случайным шумом»: модели Кардара-Паризи-Занга, ее бесконечно-зарядной модификации, непрерывной модели самоорганизованной критичности Хуа-Кардара, и бесконечно-зарядной модели эрозии ландшафтов. Для каждой из моделей приводится соответствующая квантовополевая формулировка, и доказывается ее перенормируемость. Для всех моделей соответствующие РГ функции были вычислены явно в однопетлевом приближении.

Для модели Кардара-Паризи-Занга обнаружена нетривиальная фиксированная точка. Тем не менее, она лежит вне физической области параметров и не может отвечать за скейлинговое поведение корреляционных функций модели. Для модели Хуа-Кардара обнаружена нетривиальная фиксированная точка, лежащая в физической области параметров и отвечающая за инфракрасный скейлинг. Тем не менее, формальный параметр разложения в данном случае оказывается достаточно велик, и полученные в главном приближении результаты едва ли могут считаться надежными. Для обеих бесконечно-зарядных моделей удается получить явные однопетлевые выражения для всех контрчленов и РГ функций. Их анализ показывает, что в обоих случаях в модели присутствуют двумерные поверхности притягивающих точек, которые могут содержать целые области ИК притяжения. Возможность существования подобных областей приводит к неуниверсальности возможного асимптотического поведения этих моделей, что может объяснять факт достаточно широкого разброса скейлинговых показателей, получаемых экспериментально при непосредственном измерении топографии различных ландшафтов. В обеих моделях получено точное (выполняющееся во всех порядках теории возмущений) соотношение на скейлинговые показатели.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В рамках $O(n)$ -симметричной модели было бы интересно установить, при каком именно значении ϵ происходит обмен свойствами устойчивости между фиксированными точками.
2. Для $U(n)$ -симметричной модели равновесного критического поведения, а так же для моделей Кардара-Паризи-Занга и Хуа-Кардара все вычисления проведены лишь в главном, однопетлевом приближении и едва ли могут считаться окончательными. Для установления их надежности было бы желательно в дальнейшем вычислить следующие поправки в рядах теории возмущений и, при необходимости, применить методы суммирования этих рядов.

Указанные замечания не являются принципиальными, а демонстрируют скорее интерес оппонента к работе и не снижают общего положительного впечатления от диссертации. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих значение для развития теоретической физики.

Представленные материалы отражены публикациями в журналах из списка ВАК и прошли апробацию на конференциях. Работы диссертанта хорошо известны специалистам. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация является оригинальным научным исследованием. Полученные результаты представляются достоверными, и могут быть использованы при описании критического поведения целого ряда физических систем различной природы. Все сказанное выше позволяет заключить, что диссертационная работа «Ренормализационная группа в некоторых моделях критического состояния и стохастической динамики» полностью удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Лебедев

Никита Михайлович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
специальность – 01.04.07 «физика конденсированного состояния»,
профессор, профессор кафедры теоретической физики
ФГБОУ ВО «Омский государственный
университет им. Ф.М. Достоевского»

Прудников Павел Владимирович

Дата: 17 мая 2018 г.

Адрес служебный: 644077, Российская Федерация, г. Омск, пр-т Мира, д.55А, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского», тел. 8 3812 630 445, факс: 8 3812 642 700, e-mail: PrudnikovPV@omsu.ru.

Подпись д.ф.-м.н., проф. кафедры теор. физики Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского Прудникова П.В. удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого совета
Омского государственного университета
им. Ф.М. Достоевского



Ковалевская Л.И.