

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Капустина Александра Сергеевича
«ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА КРИТИЧЕСКОЕ
ПОВЕДЕНИЕ ПРИ НАЛИЧИИ СЖИМАЕМОСТИ»
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Диссертационная работа А.С. Капустина посвящена изучению влияния движения среды на критическое поведение ряда равновесных и неравновесных систем.

Как хорошо известно, различные физические системы демонстрируют интересное сингулярное поведение в окрестности своих критических точек. Их корреляционные функции приобретают степенную (скейлинговую) форму с универсальными критическими показателями, которые зависят лишь от глобальных характеристик системы (таких как симметрия или размерность пространства). Количественное описание критического поведения дается теоретико-полевой ренормализационной группой (РГ). В РГ-подходе возможные типы критического поведения (классы универсальности) связываются с инфракрасно притягивающими неподвижными точками ренормируемых моделей теории поля. Наиболее типичные равновесные фазовые переходы принадлежат классу универсальности модели Φ^4 .

Динамическое критическое поведение даже равновесных моделей гораздо более многообразно и менее изучено. В последнее время возрастает интерес к процессам распространения и соответствующим неравновесным фазовым переходам. Такие процессы встречаются в физических, химических, биологических и экологических системах: автокаталитические реакции, протекание в пористых средах, эпидемические заболевания и т.д.

Критическое поведение реальных систем весьма чувствительно к внешним воздействиям, гравитации, влиянию примесей и движению среды. Более того, некоторые возмущения могут приводить к появлению новых классов универсальности с богатыми и необычными свойствами. Эти вопросы становятся еще более важными для неравновесных фазовых переходов, поскольку идеальные условия “чистого” стационарного критического состояния едва ли могут быть достигнуты в реальных химических или биологических системах, а влияние различных возмущений не может быть исключено полностью.

Таким образом, изучение динамического критического поведения равновесных и неравновесных систем и влияния на них турбулентного поведения является сложной и актуальной задачей. Наиболее подходящим методом исследования этих вопросов представляется теоретико-полевая ренормгруппа и эpsilon-разложение.

В работе А.С. Капустина с помощью теоретико-полевых методов ренормализационной группы и обобщенного эpsilon-разложения изучается влияние движения среды (в том числе турбулентного) на критическое поведение ряда равновесных и неравновесных систем. Для описания критических систем выбраны наиболее характерные представители: "модель А" равновесной критической динамики, стохастическая модель неравновесного фазового перехода в реакционно-диффузионной системе (т.н. процесс Грибова) и критическая динамика q-позиционной модели Поттса. Для описания турбулентного поля скоростей привлекались ансамбль Казанцева-Крейчнана (поле скорости гауссово и имеет нулевое время корреляции), его обобщение на случай конечного времени корреляции и, наконец, стохастическое уравнение Навье-Стокса.

Показано, что во всех этих случаях учет турбулентного переноса приводит к возникновению (помимо уже известных) новых, существенно неравновесных, типов критического поведения («классов универсальности») с новыми наборами критических размерностей всех полей и времени, которые были явно вычислены в ведущем порядке обобщенного (например, двойного) эpsilon-разложения.

Подробно исследованы области устойчивости таких критических режимов (области инфракрасного притяжения соответствующих неподвижных точек уравнений РГ) и изучен кроссовер между ними (потеря или обретение устойчивости при изменении параметров модели).

Особое внимание уделялось зависимости размерностей и областей устойчивости от параметра, характеризующего степень сжимаемости жидкости.

Для всех классов универсальности вычислены в ведущем порядке эpsilon-разложения критические размерности всех основных полей и параметров модели.

Общие утверждения о наличии скейлингового поведения проиллюстрированы на примере аномалии в законе расплывания облака частиц в реакционно-диффузионной модели.

Я не буду подробно излагать содержание работы по главам, так как это хорошо сделано в самой диссертации. Особо отмечу, что диссертация хорошо написана и построена. Автор существенно переработал тексты своих отдельных журнальных публикаций и представил единый цельный текст.

Диссертация является законченным оригинальным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Диссертант продемонстрировал свободное владение математическим аппаратом современной квантовой теории поля. Хотелось бы отметить последовательный и исчерпывающий (в рамках ведущего приближения) характер исследования.

Все основные результаты диссертации являются новыми; они своевременно и полно опубликованы и представлены на международных научных конференциях.

Достоверность полученных результатов обеспечивается как использованием мощного и хорошо развитого математического аппарата квантовой теории поля, так и сравнением с результатами, известными ранее для различных частных случаев.

У меня нет каких-либо существенных замечаний к работе. Отмечу один момент: все практические вычисления в работе ограничиваются однопетлевым приближением. Конечно, это связано с большой сложностью рассмотренных моделей. Кроме того, в работе приведены аргументы, что однопетлевое приближение здесь дает качественно верные результаты. Однако было бы интересно выяснить, как учет двухпетлевой и старших поправок может повлиять на полученные результаты. Надеюсь, что в будущем автор обратится к этой проблеме.

Полученные в диссертации результаты должны стимулировать экспериментальные исследования и, возможно, работы по численному моделированию таких систем (поскольку рассчитывать на получение очень точных экспериментальных данных для автокаталитических реакций или процессов горения трудно). Разработанные в диссертации методы могут найти применение в исследовании разнообразных неравновесных задач статистической физики, которым свойственно масштабно-инвариантное поведение: задачи развитой гидродинамической турбулентности и турбулентного переноса, процессы роста и т.п. Этим определяется их практическая ценность.

Результаты работы своевременно и полно опубликованы. Содержание и количество публикаций отражают содержание работы. Автореферат соответствует диссертации.

Все сказанное выше позволяет заключить, что диссертационная работа «ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА КРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИ НАЛИЧИИ СЖИМАЕМОСТИ» отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, а ее автор, Капустин Александр Сергеевич, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Ведущий научный сотрудник лаборатории математических проблем физики Санкт-Петербургского отделения Математического Института им. В.А. Стеклова РАН,

доктор физ.-матем. наук,
С.Э.Деркачев

Дата:



17.11.2014



Подпись руки

С. Э. Деркачев

УДОСТОВЕРЯЮ

Помощник директора

по кадрам ПОМИ РАН

Т.А. Долженкова

17 ноября

2014 г.

*Наб. р. Фонтанки 27,
Санкт-Петербург,
191023*

т.д. 312-40-58

e-mail: derkach@pdmi.ras.ru