



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ОИЯИ

д.ф.-м.н, академик РАН

В.А. Матвеев

«17» ноября 2014

ОТЗЫВ

ведущей организации 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 критического поведения равновесных и неравновесных физических систем с учетом движения среды, в том числе турбулентного.

Как хорошо известно, различные физические системы обнаруживают универсальное поведение в окрестности своих критических точек: их термодинамические и корреляционные функции приобретают скейлинговую форму с универсальными критическими размерностями. Последовательное описание критического поведения дается ренормализационной группой (РГ). В этом подходе различные типы критического поведения (т.н. классы универсальности) возникают как инфракрасно (ИК) притягивающие фиксированные точки некоторых моделей теории поля. Типичные фазовые переходы принадлежат классу универсальности модели с взаимодействием Φ^4 для скалярного параметра порядка. Универсальные характеристики критического поведения зависят лишь от числа компонент параметра порядка и размерности пространства и могут вычисляться в рамках последовательных схем теории возмущений, в частности, в виде разложений по отклонению размерности пространства от логарифмической размерности.

Давно стало понятным, особенно благодаря экспериментаторам, что критическое поведение реальных систем в высшей степени чувствительно к внешним возмущениям, влиянию примесей и турбулентному перемешиванию. Движение среды может разрушить типичное для модели Φ^4 критическое поведение и заменить его на поведение, типичное для теории среднего поля (без аномалий). Что гораздо более интересно и неожиданно, некоторые возмущения (случайно распределенные примеси или турбулентное перемешивание) могут производить совершенно новые типы критического поведения с богатыми и довольно экзотическими свойствами.

Эти вопросы становятся еще более важными для неравновесных фазовых переходов, поскольку идеальные условия «чистого» стационарного критического состояния не могут быть достигнуты в реальных химических или биологических системах, а влияние

различных возмущений не может быть исключено полностью. В частности, порожденные градиентами температур эффекты турбулентности не только не могут быть исключены для химических каталитических реакций, но и являются их важной причиной (конвекция). Также можно предположить, что атмосферная турбулентность должна играть важную роль в распространении инфекционных заболеваний летучими мышами, насекомыми и птицами, а именно мобильность носителей агента в своё время привела к столь широкому распространению чумы в средневековой Европе. В то же время, распространение пыльцы растений, андидота или информации (в аналогичных социологических моделях) может иметь важнейший положительный эффект.

Итак, изучение динамического критического поведения равновесных и неравновесных систем и влияния турбулентного поведения среды является сложной и **актуальной задачей**, а наиболее подходящим методом исследования представляется теоретико-полевая ренормгруппа и эpsilon-разложение.

Целью работы является изучение влияния турбулентного движения среды на критическое поведение ряда равновесных и неравновесных физических систем. В качестве моделей критического поведения выбраны наиболее характерные представители: релаксационная модель равновесной критической динамики несохраняющегося скалярного параметра порядка (модель А), ее обобщение на случай q-позиционной модели Поттса и стохастическая модель неравновесного фазового перехода между флуктуационным и абсорбционным состояниями в реакционно-диффузионной системе (процесс или модель Грибова). Для описания турбулентного поля скорости привлекались статистический ансамбль Казанцева-Крейчнана (поле скорости гауссово и имеет нулевое время корреляции), его обобщение на случаи наличия сжимаемости и конечного времени корреляции и стохастическое уравнение Навье-Стокса для несжимаемой вязкой жидкости.

Показано, что во всех 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. Определены области устойчивости таких критических режимов (области ИК-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.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Исследовано влияние турбулентного перемешивания на критическое поведение неравновесной реакционно-диффузионной системы в случае, когда поле скорости моделируется статистическим ансамблем Казанцева-Крейчнана. Установлено существование, наряду с уже известными класса универсальности, нового типа критического поведения. Определена область его устойчивости (область притяжения соответствующей неподвижной точки уравнений ренормгруппы) в пространстве параметров модели. В главном порядке обобщенного (двойного) эpsilon-разложения вычислены критические размерности всех полей и времени. Изучена зависимость области устойчивости и размерностей от параметра, характеризующего степень сжимаемости жидкости. Получено обобщение этих результатов на случай конечного времени корреляции поля скорости.

2. Исследовано влияние турбулентного перемешивания, моделируемого ансамблем Казанцева-Крейчнана, на равновесное динамическое критическое поведение скалярного параметра порядка. Установлено существование нового, существенно неравновесного, класса универсальности, в ведущем порядке эpsilon-разложения найдена область его устойчивости и вычислены основные критические размерности. Изучена их зависимость от степени сжимаемости жидкости.
3. Изучено влияние турбулентного перемешивания на критическое поведение неравновесной реакционно-диффузионной системы в случае, когда поле скорости описывается стохастическим уравнением Навье-Стокса для несжимаемой вязкой жидкости. Также установлено существование нового класса универсальности и в ведущем порядке эpsilon-разложения найдены область его устойчивости и основные критические размерности.
4. Изучено влияние турбулентного перемешивания, моделируемого стохастическим уравнением Навье-Стокса, на равновесную критическую динамику скалярного параметра порядка. Для возникающего здесь нового неравновесного класса универсальности в главном порядке эpsilon-разложения найдена область устойчивости и вычислены критические размерности полей и времени.
5. Рассмотрено влияние турбулентного перемешивания на равновесную релаксационную критическую динамику векторного параметра порядка системы, относящейся к классу универсальности q-позиционной модели Ашкина-Теллера-Поттса. Помимо уже известных, обнаружен новый неравновесный класс универсальности и вычислены соответствующие критические размерности. Детально исследована сложная картина областей притяжения неподвижных точек и их эволюция с изменением параметров модели, таких как размерность пространства, степень сжимаемости жидкости и число компонент параметра порядка. Изучены также явления кроссовера (потеря и обретение устойчивости критическими режимами) при изменении этих параметров. В частности показано, что при некоторых значениях параметров притягивающими могут быть сразу две неподвижные точки, то есть при тех же условиях могут реализоваться различные типы критического поведения. В этом смысле, критическое поведение оказывается неуниверсальным.

Личный вклад соискателя. В диссертации представлены результаты, полученные лично соискателем, либо при его ведущем участии в неразделимом соавторстве. **Научная новизна.** Все основные результаты диссертации являются новыми и получены впервые, что подтверждается их публикацией в ведущих отечественных и международных журналах. **Практическая ценность** диссертации определяется возможными приложениями полученных результатов к описанию различных равновесных и неравновесных околочитических систем: автокаталитических химических реакций, бинарных смесей и др. Результаты работы должны стимулировать экспериментальные исследования по выявлению новых типов критического поведения и измерению соответствующих критических размерностей. Развитые методы могут быть применены к другим подобным задачам, таким как рост границы раздела фаз, случайные блуждания и длинные полимеры в движущихся средах и др. **Достоверность результатов**

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

Апробация работы и публикации: основные результаты диссертации опубликованы в четырех статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и представлены на международных научных конференциях, в том числе: *Models in Quantum Field Theory II* и *III* (СПб, 2008, 2010), *Renormalization Group and Related Topics in Quantum Field Theory* (Дубна, 2008), *Science and Progress* (СПб, 2010) и *Small Triangle Meeting on Theoretical Physics* (Stara Lesna, 2013).

К диссертации можно сделать следующие замечания:

- В работе имеются некоторые незначительные опечатки.
- Все вычисления ограничиваются только ведущим (однопетлевым) приближением. Конечно, это связано со сложностью моделей, а также приведены аргументы, что ведущее приближение дает качественно верные результаты. Тем не менее, интересно было бы обсудить в будущем влияние старших поправок.
- Хорошо бы было включить ссылку на статью M. Hnatich, J. Honkonen, T. Lučivjanský «Effect of Compressibility on the Annihilation Process» *Theoretical and Mathematical Physics*, **176** (1): 873–880 (2013), в которой обсуждается влияние поля скорости на модель диффузии-аннигиляции.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Все сказанное выше позволяет заключить:

В диссертации А.С. Капустина решены важные и актуальные научные задачи. Полученные результаты достоверны: они докладывались на семинарах и международных конференциях и, тем самым, известны ведущим специалистам. Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации могут быть использованы в дальнейших исследованиях, проводимых в СПбГУ, МГУ им. М.В. Ломоносова, Омском гос. Университете им. Ф.М. Достоевского, Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, ПИЯФ РАН, Математическом институте им. В.А. Стеклова РАН, Дагестанском научном центре РАН (г. Махачкала), ИТФ им. Л.Д. Ландау (г.Черноголовка Московской обл.) и других институтах и научных центрах, ведущих исследования в области квантовой теории поля, статистической физики, особенно в теории критического состояния, теории многочастичных систем и теории турбулентности.

Все сказанное выше позволяет заключить, что диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности

01.04.02 – теоретическая физика, а ее автор, Александр Сергеевич Капустин, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил зам. директора ЛТФ д.ф.-м.н. проф. Гнатич М.. Диссертация обсуждена и одобрена на семинаре Лаборатории Теоретической Физики ОИЯИ 14.11.2014.

Заместитель директора
Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова
Объединенного института ядерных исследований
ул. Жолио-Кюри 6
141980 Дубна, Московская область
тел.: +74962162473
факс.: +74962165084
д.ф.-м.н., профессор



Гнатич Михаил