



ТВЕРЖДАЮ

Проректор СПО по учебно-методической работе
профессор А.И. Свободов

«13» сентября 2011 г.

ОТЗЫВ ведущей организации

о диссертации Тарасова Василия Евгеньевича «Модели теоретической физики с интегро-дифференцированием дробного порядка», представленной на соискание ученой степени доктора наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика (по отрасли наук 01.00.00 – физико-математические науки).

Диссертационная работа Тарасова В.Е. посвящена теоретическому исследованию физических систем обладающих фрактальными свойствами, свойствами степенной памяти и степенной пространственной нелокальностью. Свойства фрактальности, памяти и нелокальности характерны для широкого класса механических, электродинамических, статистических, дискретных и непрерывных, классических и квантовых систем.

Актуальность темы исследования определяется научным и практическим интересом к физическим системам, обладающим свойствами фрактальности, памяти и нелокальности, обусловленными такими характерными особенностями как нецелая топологическая размерность и самоподобие структуры; зависимость поведения материалов, сред, частиц и полей от предистории их движения и эволюции; степенная нелокальность взаимодействия частиц. Для последовательного описания указанных процессов и их свойств применяются математические методы, основанные на использовании интегро-дифференциальных операторов нецелого порядка по координате и времени.

Предложенная Тарасовым В.Е. дробно-интегральная модель описывает динамические свойства фрактальных распределений частиц, полей и сред, относящихся к гидродинамике, динамике твердых тел, к теории электромагнитных полей, статистической физике. В рамках предлагаемой модели получены законы сохранения массы, импульса и энергии для фрактальных сред и распределений, в которых учтены их дробные размерности, такие как массовая, зарядовая, частичная и другие.

Несмотря на то, что история дробного математического анализа и интегро-дифференцирования нецелого порядка имеет более чем трехсотлетнюю историю, разработка и применение в теоретической физике векторного анализа с интегро-дифференциальными операциями нецелого порядка и дробного внешнего исчисления дифференциальных форм ограничиваются одним десятилетием. Для описания непрерывных

системы со степенной нелокальностью В.Е. Тарасовым были развиты методы дробного векторного математического анализа и дробного внешнего исчисления дифференциальных форм. Впервые были даны взаимосогласованные определения дифференциальных и интегральных векторных операций с дробного порядка, и на их основе были доказаны соответствующие обобщения теорем Грина, Стокса, Гаусса. Эти методы были использованы для построения моделей классических гамильтоновых и градиентных систем в рамках лагранжева и гамильтонова описания; для получения уравнений электромагнитного поля в рамках электродинамики со степенной нелокальностью; для получения обобщений уравнений Лиувилля, Боголюбова, Власова, Фоккера-Планка, описывающих нелокальные системы статистической механики и физической кинетики.

Для многих диэлектрических сред восприимчивость в широком частотном диапазоне подчиняется законам, открытым Джоншером и называемым универсальным откликом. Прежде электромагнитные поля для таких сред изучались методами численного моделирования. В.Е. Тарасовым были получены интегро-дифференциальные уравнения для электромагнитных полей в диэлектрических материалах. Эти уравнения содержат интегро-дифференцирования дробных порядков, которые явно выражаются через экспериментально измеримые показатели степенной зависимости универсального отклика. Полученные уравнения являются общими для широкого класса диэлектрических сред, независимо от типа физической структуры среды, её химического состава или природы поляризации, будь то ионная, электронная или дипольная. Эти дробные интегро-дифференциальные уравнения позволяют в широком диапазоне частот точно описывать свойства материалов с низкими потерями на излучение.

Динамика систем с неинтегрируемыми связями имеет важное значение в механике. В.Е.Тарасовым были предложены модели систем с конечным числом степеней свободы, на которые наложены неинтегрируемые (неголономные) связи с долговременной степенной памятью. Применение интегро-дифференцирования нецелого порядка позволило описать неголономные связи со степенной памятью, наложенные на динамические переменные физических систем. Впервые получены ограничения на применимость принципа стационарности действия для неголономных систем с долговременной памятью.

Исследование нелинейной динамики в терминах дискретных отображений является важнейшим инструментом для понимания качественного поведения физических систем, описываемых дифференциальными уравнениями. В.Е. Тарасовым были впервые получены модели дискретных физических систем с долговременной памятью из уравнений движения с производными Капуто и Римана-Лиувилля дробного порядка по времени без использования аппроксимаций дробных производных. Для движения систем со степенной памятью, описываемой интегро-дифференцированием дробного порядка, и периодическими толчками, получены соответствующие им дискретные системы с памятью, обобщающие стандартное и универсальное отображения, системы Амосова, отображения Заславского и отображения Хенона.

Применение в квантовой теории интегро-дифференциальных операторов дробного порядка открывает новые возможности, связанные с учетом нелокальности, памяти в квантовых каналах связи, и

влияния окружения на квантовую систему. В.Е. Тарасовым были предложены модели квантовых гамильтоновых и негамильтоновых систем, взаимодействующих со своим окружением и описываемых дробными степенями инфинитезимальных генераторов. Используя представление производных нецелого порядка для аналитических функций, В.Е. Тарасовым были разработаны методы вейлевского квантования интегро-дифференцирований дробного порядка, что открывает новые возможности в исследовании квантовой теории физических систем со степенной нелокальностью.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения, цитируемой литературы из 330 названий. Общий объем диссертации 298 страниц, основная часть составляет 225 страниц.

Во введении приведен краткий обзор различных подходов к проблеме теоретического описания физических объектов, обладающих свойствами фрактальности, степенной нелокальности, степенной памяти. Формулируются тема и основные цели диссертации, обосновывается их актуальность, кратко описывается содержание глав диссертации.

Первая глава посвящена теоретическому исследованию фрактальных распределений и сред. Описываются основные понятия дробно-интегральных моделей, используются понятие плотности состояния и интегрирования нецелого порядка для описания фрактальных распределений массы, заряда, полей, частиц и вероятности. При этом предполагается, что порядок интегрирования задается нецелыми (массовой, зарядовой, частичной и др.) размерностями описываемых сред и распределений. В первой главе рассмотрены дробно-интегральные модели фрактальных сред и распределений в гидродинамике, в механике абсолютно твердого тела, в теории случайных процессов, в электродинамике, в статистической механике. Выводятся уравнения движения и описываются свойства фрактальных сред и распределений.

Вторая глава рассматриваются модели физических систем и сред с нелокальными свойствами и с нелокальными взаимодействиями степенного типа, для описания которых применяются методы интегро-дифференцирования дробного порядка по координатам. Построены теоретические модели дискретных систем, таких как линейные цепочки и кристаллические решетки, с нелокальными взаимодействиями степенного типа, приводящие в непрерывном пределе к моделям нелокальных сплошных сред, описываемых уравнениями с интегро-дифференцированиями нецелого порядка по координатам. Показано, что степенная нелокальность в непрерывных средах связана с межчастичным взаимодействием дробно-степенного типа. Для описания нелокальных свойств формулированы взаимно согласованные определения дифференциальных и интегральных векторных операций дробного порядка. На этой основе сформулированы и доказаны интегральные теоремы, построены новые модели статистической механики и электродинамики со степенными нелокальностями. Впервые построены модели градиентных и гамильтоновых систем дробного порядка, позволяющие сводить изучение широкого класса неградиентных и негамильтоновых систем к исследованию свойств обобщенных потенциалов и гамильтонианов.

Третья глава посвящена теоретическому исследованию физических систем и сред с эрмитовыми свойствами и с

долговременной памятью степенного типа с использованием методов интегро-дифференцирования дробного порядка по времени. Предложен принципиально новый подход к описанию электромагнитных полей в диэлектрических средах, подчиняющихся законам универсального отклика. В основе этого подхода лежат интегро-дифференциальные уравнения, дробный порядок которых явно выражается через экспериментально измеримые показатели степенной зависимости универсального отклика. Построены модели неавтономных систем со степенной памятью, использующие интегро-дифференцирования Римана-Лиувилля и Капуто дробного порядка. Выведены, без применения каких-либо аппроксимаций дробных дифференциальных операций, модели дискретных отображений с памятью из уравнений движения физических систем с периодическими толчками и со степенной памятью, описываемой интегро-дифференцированием дробного порядка.

Четвертая глава содержит теоретическое исследование квантовых гамильтоновых и негамильтоновых систем, взаимодействующих со своим окружением и описываемых дробными степенями инфинитезимальных производящих генераторов. Впервые построены модели квантовых гамильтоновых и негамильтоновых систем со степенным экранированием окружения и описаны динамические свойства экранированных квантовых систем. Используя вейлевское квантование и представление производных нецелого порядка в виде ряда и в виде интеграла Фурье, строятся квантовые аналоги производных Римана-Лиувилля и производных Лиувилля, позволяющие описывать квантовые аналоги классических систем со степенными нелокальностями.

В приложении приводятся основные сведения об интегрировании дробного порядка.

В заключении формулируются основные результаты, полученные в диссертации.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием современных математических методов расчета, физической интерпретацией описываемых свойств и явлений, подтверждается совпадением полученных зависимостей с результатами экспериментальных работ, с другими теоретическими работами в условиях их применимости.

По диссертации есть следующие замечания: а) поскольку дифференциальная геометрия с дробными производными формулируется для заданной системы координат, то следовало бы обсудить вопрос о нарушении и восстановлении непрерывных пространственных симметрий, в частности, определяющих законы сохранения; б) объем диссертации превышает рекомендуемые размеры для докторских диссертаций и мог бы быть сокращен за счет удаления ряда промежуточных теорем и доказательств. Вместе с тем, указанные замечания не умаляют научную и практическую ценность полученных результатов.

Практическая значимость результатов работы определяется возможностью их использования при расчетах свойств и характеристик фрактальных сред и распределений различных типов; при описании материалов с низкими потерями на излучение, применяемых в технология типа "стелс"; при исследовании притягивающих множеств (аттракторов), свойственных для сред и процессов со степенной памятью, таких как диэлектрические среды с универсальным откликом и вязкоупругие среды.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть рекомендованы для использования в организациях: НИИЯФ МГУ, Объединённый институт ядерных исследований, МЭИ (ТУ), Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН, Физико-техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН, Институте ядерных исследований РАН, РНЦ "Курчатовский институт", Математическом институте им. В.А.Стеклова РАН, МФТИ (ГУ), МАИ (ТУ), МЭИ (ТУ), ИСЭ СО РАН, ИПМ РАН и другие.

Автореферат правильно и полно отражает содержание и результаты диссертации.

Диссертация Тарасова В.Е. в целом представляет собой научный труд, в котором содержится решение ряда крупных научных проблем, имеющее существенное значения для теоретической физики. Совокупность ее результатов можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в теоретической физике.

Основные результаты опубликованы в трех монографиях и в 55 научных статьях в ведущих российских и зарубежных отечественных рецензируемых научных журналах, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор В.Е. Тарасов заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 "Теоретическая физика".

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц Санкт-Петербургского государственного университета 13 сентября 2011 года (протокол № 1/2).

Заведующий кафедрой физики
высоких энергий и элементарных частиц
профессор
М.А. Браун

Отзыв составил,
заведующий лабораторией
теории ядра и элементарных частиц,
доктор физ.-мат. наук, профессор
А.А. Андрианов



Подпись РУКИ
Браун М. А.
ЗАВЕРЯЮ Юсу