

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ И ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Широкие перспективы. Высокие горизонты.

О КАФЕДРЕ



Кафедра квантовой теории и физики высоких энергий осуществляет подготовку по наиболее актуальным разделам современной физики фундаментальных взаимодействий.

- Учебная программа кафедры охватывает широкий круг направлений от квантовой теории поля до теории гравитации и включает следующие спецкурсы:
- Современные методы теории групп.
- Квантовая теория поля. Калибровочные поля.
- Введение в физику элементарных частиц.
- Основы стандартной модели.
- Квантовая теория поля на решетке.
- Введение в теорию гравитации.

- Актуальные вопросы квантовой теории частиц и полей.
- Современные модели сильных взаимодействий и физика адронов.
- Основы аксиоматической теории поля.
- Эффекты нелинейной электродинамики вакуума в лабораторных и астрофизических условиях.
- Эффект Казимира в квантовой теории поля.
- Основы релятивистской теории гравитации.

На кафедре работают оригинальные практики: "Компьютерные вычисления в теоретической физике", "Язык аналитических вычислений MAXIMA", практикум по курсу "Численные методы в теоретической физике", на которых студенты приобретают навыки вычислений, необходимых в последующей работе физика-теоретика.

Подготовка студентов направлена на то, чтобы выпускники кафедры мог свободно выбрать интересующую его тематику практически из любой области современной теоретической физики и приступить к эффективной работе. После окончания магистратуры многие выпускники продолжают обучение на кафедре в качестве аспирантов.

Преподаватели и сотрудники кафедры ведут научную работу по широкому спектру направлений, что позволяет студенту достаточно просто выбрать научного руководителя для подготовки выпускных квалификационных работ. Следует отметить, что при желании студенты могут выбрать научного руководителя и в других научных организациях.

Кафедра сотрудничает с Институтом физики высоких энергий (ИФВЭ), находящимся в г. Протвино. Ведущие ученые этого института в течение ряда лет читают специальные курсы для студентов кафедры, руководят дипломниками и аспирантами. Большое число выпускников кафедры работает в этом институте.

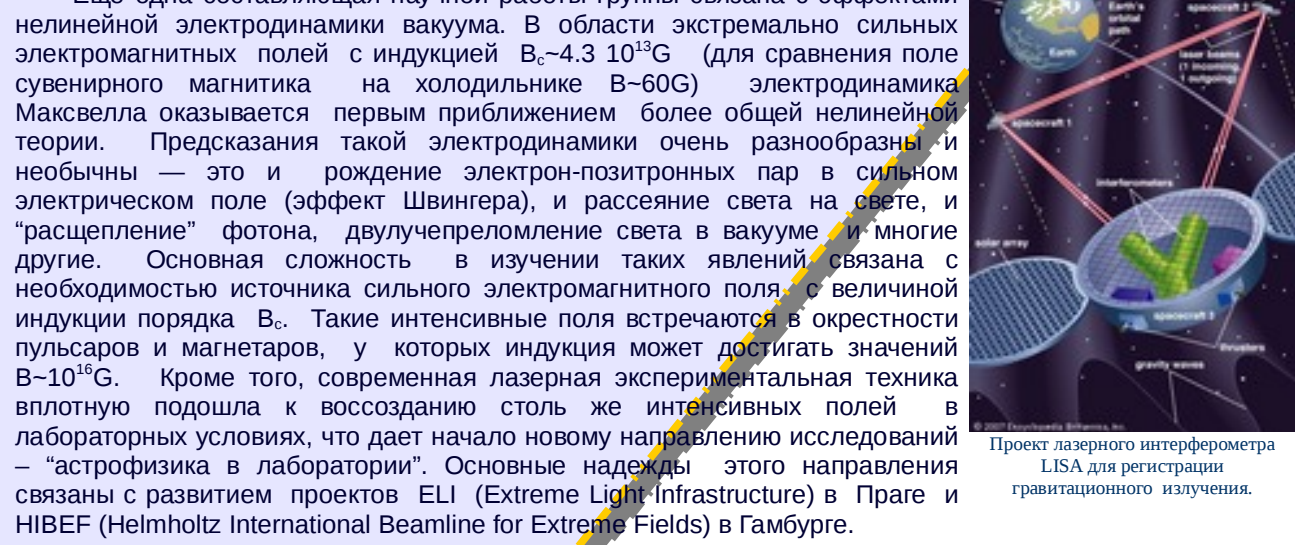
В настоящее время на кафедре преподают также и сотрудники ведущих российских научных центров: НИИЯЭ МГУ (Москва) и СИФИ (Дубна).

Заведующий кафедрой квантовой теории и физики высоких энергий, д.ф.-м.н., профессор В.И.Денисов

НАУЧНАЯ ГРУППА ПРОФЕССОРА В.И. ДЕНИСОВА

Классическая теория поля долгие годы служит надежным фундаментом теоретических исследований. Несмотря на то, что множество предсказанных в ней явлений уже нашли свое экспериментальное подтверждение и стали неотъемлемой частью современной картины мира, актуальность исследований в этой области не снижается, и по сей день. Прежде всего, это связано с появлением новых данных в астрофизических наблюдениях, а также с возможностями воссоздания в лабораторных условиях экстремальных режимов для вещества и полей не доступных ранее.

Группа профессора В.И. Денисова специализируется в области эффектов классической теории гравитации, нелинейной оптике и квантовой теории поля. Предсказание такой электродинамики очень разнообразно и необычны — это и рождение электрон-позитронных пар в сильном электрическом поле (эффект Швингера), и рассеяние света на свете, и "рассечение" фотона, дуглеродоположение света в вакууме и многие другие. Основная сложность в изучении таких явлений — необходимость источника сильного электромагнитного поля с величиной индукции порядка В. Такие интенсивные поля встречаются в окрестности пульсаров и магнетаров, у которых индукция может достигать значений В-10¹⁰Г. Кроме того, современная лазерная экспериментальная техника вплотную подошла к воссозданию столь же интенсивных полей в лабораторных условиях, что дает начало новому направлению исследований — "астрофизика в лаборатории". Основные надежды этого направления связаны с развитием проекта ELI (Extreme Light Infrastructure) в Праге и NIFBE (Helmholtz Intensity Beamline for Extreme Fields) в Гамбурге.



Еще одна составляющая научной работы группы связана с эффектами нелинейной электродинамики вакуума. В области экстремально сильных электромагнитных полей и индукций В-4,3·10¹⁰Г (для сравнения поле суверенного магнита на холодильнике В-60Г) электродинамика Максвелла оказывается первым приближением. Более общей нелинейной теории. Предсказания такой электродинамики очень разнообразны и необычны — это и рождение электрон-позитронных пар в сильном электрическом поле (эффект Швингера), и рассеяние света на свете, и "рассечение" фотона, дуглеродоположение света в вакууме и многие другие. Основная сложность в изучении таких явлений — необходимость источника сильного электромагнитного поля с величиной индукции порядка В. Такие интенсивные поля встречаются в окрестности пульсаров и магнетаров, у которых индукция может достигать значений В-10¹⁰Г. Кроме того, современная лазерная экспериментальная техника вплотную подошла к воссозданию столь же интенсивных полей в лабораторных условиях, что дает начало новому направлению исследований — "астрофизика в лаборатории". Основные надежды этого направления связаны с развитием проекта ELI (Extreme Light Infrastructure) в Праге и NIFBE (Helmholtz Intensity Beamline for Extreme Fields) в Гамбурге.

В проекте ELI планируется проверка целого ряда эффектов нелинейной электродинамики вакуума, таких как: рассеяние света на свете, рождение каскадов электрон-позитронных пар, вакуумное дуглеродоположение. На рисунке представлены значения интенсивности лазерного излучения необходимой для экспериментальной регистрации этих эффектов.

Новые экспериментальные данные, полученные на этих установках, в сочетании с развитием теоретических исследований нелинейной электродинамики вакуума открывают широкие перспективы для дальнейшего изучения законов электромагнитного взаимодействия.

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ

Основным профильным спецкурсом кафедры является курс «Квантовая теория поля» (КТП). Это очень объемный и достаточно сложный курс, который не помещается в стандартные рамки обычного спецкурса. Поэтому он формально разбит на несколько спецкурсов, но все они остаются тесно связанными между собой. В первую очередь они объединены объектом изучения. Это релятивистские квантовые поля, которые являются системами с бесконечным числом степеней свободы.

В этом курсе изучаются поля разных типов. В нем излагается теоретико-полевые основы квантовой электродинамики, квантовой хромодинамики, теории электро-слабых взаимодействий. В настоящее время КТП — это передний рубеж теоретической физики. КТП является теоретической основой таких фундаментальных разделов физики как физика высоких энергий (физика элементарных частиц и космология. Именно здесь сейчас можно ожидать наиболее крупные открытия. С другой стороны, в самой квантовой теории поля осталось много открытых вопросов.

Помимо КТП — это не только повод готовых правил расчетов различных физических эффектов, хотя такой подход очень полезен и необходим, но и КТП — это живая наука, которая сейчас интенсивно развивается и совершенствуется. Это, в частности, связано с тем, что здесь приходится объединять квантовую теорию с теорией относительности, а такое объединение — очень непростая задача.

Во вторую очередь весь курс, входящий в КТП, объединяются математическими методами, используемыми в этих курсах. В арсенал таких методов входят: теория операторов в гильбертовом пространстве, теория обобщенных функций, их регуляризация и перенормировка, функция Грина и континуальное интегрирование, теория групп. Часть из этих методов заимствуется из читанских ранее курсов математики, другие излагаются в курсе КТП.

В КТП, помимо изучения теоретических вопросов, предусмотрено решение задач. Часть из них, фактически, является повторением научных работ, которые еще недавно были проведены и во многом определили лицо современной физики.

КОНТАКТЫ

Ответственный за набор 2016 года и будущий куратор группы: доцент, к.ф.-м.н. **Томаша Владимировна Полина Александровна**.
Телефон: +7 925 3072056, e-mail: polina@physics.msu.ru

Любые вопросы о кафедре и научной деятельности кафедры можно задавать нашим преподавателям, которых можно найти по расписанию 3-4 курсов «Электродинамика», «Квантовая теория».

• Современные методы теории групп.
• Квантовая теория поля. Калибровочные поля.
• Введение в физику элементарных частиц.
• Основы стандартной модели.
• Квантовая теория поля на решетке.
• Введение в теорию гравитации.

Помимо фундаментального физического образования, студенты кафедры получают представление о современных вычислительных технологиях, которые являются необходимым инструментом теоретической физики. В программу включены курсы, посвященные аналитическому вычислению на ЭВМ, распределенным вычислениям, массовым параллельным вычислениям, вычислительным кластерам и вычислительным картам, курсы поддерживают практикум на базе кафедрального вычислительного кластера (OS UNIX), включающего сервера с вычислительными узлами (CUDA). Кластер организован на базе общегородского протокола MPI, так что, пройдя курс практических занятий, выпускник сможет без дополнительного посещения пользоваться вычислительными ресурсами мирового открытого и закрытого научного центра. Хотя курсы направлены главным образом на вычислительные аспекты решеточной квантовой теории поля и квантовой теории систем многих частиц, они обладают высокой степенью универсальности, так что выпускник сможет применить приобретенные навыки для вычислительного эксперимента в практически любой области физики.

Теоретическая часть курса посвящена стандартному набору численных методов, которыми должен владеть каждый физик-теоретик. При этом основное внимание уделяется не обоснованию тех или иных методов, а особенностям их применения, сравнению эффективности разных методов для решения одной и той же задачи и написанию относительно простых программ на языке «С», в которых эти методы реализуются. Сравнение разных методов проводится по времени счета почти наивыгоднейших вычислений, поскольку если метод дает результат по скорости в 20%, но требует в 4 раза больше времени, то применение его нецелесообразно. Теоретическая часть курса посвящена стандартному набору численных методов, которыми должен владеть каждый физик-теоретик. При этом основное внимание уделяется не обоснованию тех или иных методов, а особенностям их применения, сравнению эффективности разных методов для решения одной и той же задачи и написанию относительно простых программ на языке «С», в которых эти методы реализуются. Сравнение разных методов проводится по времени счета почти наивыгоднейших вычислений, поскольку если метод дает результат по скорости в 20%, но требует в 4 раза больше времени, то применение его нецелесообразно.

Экспериментальная точность явная, калибровочная симметрия проявляется в существовании элементарных частиц со спином 1 (калибровочных векторных бозонов — переносчиков соответствующих взаимодействий) — фотона, в случае абелевой электродинамики, W₁ и Z бозонов в случае неабелевой теории слабых взаимодействий и восьми глюонов в случае квантовой хромодинамики. W₁ и Z бозоны были открыты в 1983 году (К.Рубини и С.ван дер Мер, Нобелевская премия по физике за 1984 год). Предполагается, что переносчики гравитационных взаимодействий являются частицы со спином 2 — гравитоны (экспериментально не обнаружены, но обнаружение гравитационных волн можно считать косвенным подтверждением их существования).

Почти одновременно с началом бурного развития теорий неабелевых калибровочных полей был открыт качественно новый тип симметрии (суперсимметрии), преобразованием которой теория становится нарушенной симметрией (механизм Брауэра-Энглерта-Хиггса, Нобелевская премия по физике за 2013 год), достаточно хорошо изучены. Подчеркнем, что именно неабелева калибровочная симметрия ответственна за перенормируемость эти моделей (в случае моделей со спонтанным нарушением симметрии перенормируемость была доказана Г.Хуффтом, Нобелевская премия по физике за 1999 год), а в теории сильных взаимодействий (модель квантовой хромодинамики) приводит к асимптотической свободе кварков и глюонов (Д.Гросс, Ф.Вильчек и Д.Политцер, Нобелевская премия по физике за 2004 год).

Замечательно, что такие полевые модели, во-первых, предсказывают 10-мерность нашего пространства-времени (наш повседневный опыт говорит нам о том, что наше пространство-время -4-х мерно, остальные 6 измерений свернуты в столь маленькие пространства, что могут наблюдаться только при очень высоких энергиях), а, во-вторых, эти модели возникают как специальные пределы более фундаментальных моделей фермионных струн и суперструн (а возможно и супермембран), обладающих еще более высокой степенью симметрии, связанной с бесконечномерными супералгебрами и супергруппами Ли.

Суперсимметрия, это новый тип симметрии, который в природе еще не обнаружен. С точки зрения эксперимента, суперсимметрия может проявиться в том, что у каждой известной нам элементарной частицы будет наблюдаться партнер, причем, как правило, не один. Например, у электрона должно быть два партнера, с таким же электрическим зарядом, но с более тяжелыми массами и другими свойствами. Все остальные свойства будут такими же как у электрона, и т.д. В настоящее время, на ЛHC (Большой адронный коллайдер) в CERN (Европейский центр ядерных исследований) проводятся эксперименты по поиску возможных проявлений суперсимметрии.

Т.о., в современной физике элементарных частиц симметрия и инвариантность играют основополагающую роль, которая, в частности, сводится к ограничению числа приемлемых теорий, претендующих на описание реальных физических явлений. Сравнительно недавно, при изучении интегрируемых квантовых систем, теория струн, суперсимметричных обобщений неабелевых калибровочных теорий поля и при исследовании других моделей, были открыты принципиально новые симметрии, которые получили название «квантовых симметрий». Эти симметрии связаны с новыми алгебраическими структурами, которые называются «квантовыми группами». Квантовые группы и алгебры в некоторых случаях можно рассматривать как квантование (или, как говорят математики, деформацию), обычных групп и алгебр Ли (математически более корректно говорить о квантовании алгебры Ли группы Ли и квантовании универсальной обертывающей алгебры Ли). Данное квантование сопровождается введением дополнительного параметра q (параметра деформации), который играет роль, аналогичную роли постоянной Планка в квантовой механике. При q → 1 квантовые группы и алгебры переходят в стандартные группы и алгебры Ли, а квантовые симметрии в — обычные симметрии.

Были найдены и изучены примеры статистических и динамических систем с гамилтонианами, инвариантными относительно специального действия квантовых групп. Как выяснилось, квантовые симметрии приводят к наличию у этих моделей большого числа нетривиальных законов сохранения, что существенно и является признаком интегрируемости. Очевидно, что квантовые группы определяют принципиально новый класс симметрий — квантовых симметрий, обобщающих обычные симметрии и суперсимметрии, связанные с супералгебрами и супергруппами Ли. Замечательно, что, если калибровочная инвариантность и суперсимметрия ответственны за перенормируемость (или даже конечность и самосогласованность соответствующих квантовополевых моделей, то квантовые симметрии приводят к их интегрируемости и точной решаемости, что позволяет исследовать такие модели вне рамок теории возмущений.

Оказывается, что исследование квантовых симметрий требует более глубокого понимания геометрии квантовых групп и, в частности, предполагает детальную разработку некоммутативной дифференциальной геометрии квантовых групп. Такие исследования проводятся в рамках бурно развивающегося направления в математике, которое называется некоммутативная геометрия. Об обобщении создания такой геометрии говорить пока рано, хотя достаточно общая программа ее построения существует и была сформулирована известным французским математиком Аланом Конном. Некоторые аспекты некоммутативной дифференциальной геометрии исследуются в работе (А.Р. Исаев, Р. Рухов "Spectral extension of the quantum group coadjoint bundle", Comm.Math.Phys., 288 (2009) 1137-1179).

Следует также упомянуть о некоммутативных деформациях групп Лоренца и Пуанкаре, которые приводят к построению квантовых версий пространства-времени Минковского. Отметим, что теории суперструн также предсказывают некоммутативность нашего пространства-времени и этот предсказание стимулировало многочисленные построения и исследования теории поля на таких некоммутативных пространствах. Интересно, что подобные новые исследования со временем с довольно старыми идеями о существовании изменения структуры пространства-времени при сверх-высоких энергиях или, что самое самое, на очень малых масштабах, порядка планковской длины (1,6·10⁻³³ см). Такие энергии, а соответственно и столь малые структуры, по-видимому, могли реализовываться только на ранних стадиях развития Вселенной.

В заключение хочется отметить основную нерешенную проблему, стоящую перед современной теоретической физикой — это проблема построения КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ, а также включение этой теории в единую теорию, описывающую все существоющие взаимодействия в природе.

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

Докцент Оастина Маргарита Владимировна, область научных интересов: применение гамилтонова формализма к космологическим моделям в ОТО, исследования в направлении физического понимания бигравитации. Описание гравитации уравнениями Эйнштейна, где динамическими переменными являются метрика пространства-времени и поля материи. При переходе к гамильтонному формализму необходимо явно выделить временную координату от пространственных. Состояние системы должно определяться значениями полей гравитации и материи во всех точках пространства в определенный момент времени. Состояние задается на пространственной гиперповерхности, включенной в пространство-время. Течение времени соответствует движению этой гиперповерхности через пространство-время, или непрерывному переходу от одной гиперповерхности состояния к другой. Возможность применения нескольких динамических метрик для описания реального мира обсуждается довольно давно. Его принято называть мультигравитацией. Есть надежда, что такая модификация теории гравитации позволит справиться с проблемой темной энергии. В случае двух метрик модель называется бигравитацией. Предполагается, что каждая из метрик взаимодействует только со «своей» материей, однако посредством некоторого потенциала, метрики могут взаимодействовать между собой. Если лишить одну из метрик энергии, т.е. сделать ее абсолютной, то получается метрическая теория гравитации с заданными формами. В частности, такими являются теории с массивным гравитоном, применяемые для объяснения признаков темной энергии во Вселенной. (В области научных интересов также входят исследования, связанные с попытками понять феномен сознания с точки зрения современной физики.)

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

ТЕОРЕТИКО-ГРУППОВЫЕ И АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОЙ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ



Считается общепризнанным, что для описания физики элементарных частиц следует использовать хорошо разработанный, в рамках теории возмущений, аппарат квантовой теории поля. Теория квантовых полей создавалась в основном в процессе построения квантовой электродинамики — полевой теории, описывающей электромагнитное взаимодействие и обладающей т.н. абелевой калибровочной симметрией. Современные полевые модели, объединяющие слабые, электромагнитные и сильные взаимодействия элементарных частиц, основываются на фундаментальном принципе неабелевой калибровочной инвариантности, которая обобщает абелеву симметрию. Соответствующие квантово-полевые модели, включая калибровочные доклады со спонтанным нарушением симметрии (механизм Брауэра-Энглерта-Хиггса, Нобелевская премия по физике за 2013 год), достаточно хорошо изучены. Подчеркнем, что именно неабелева калибровочная симметрия ответственна за перенормируемость эти моделей (в случае моделей со спонтанным нарушением симметрии перенормируемость была доказана Г.Хуффтом, Нобелевская премия по физике за 1999 год), а в теории сильных взаимодействий (модель квантовой хромодинамики) приводит к асимптотической свободе кварков и глюонов (Д.Гросс, Ф.Вильчек и Д.Политцер, Нобелевская премия по физике за 2004 год).

Экспериментальная точность явная, калибровочная симметрия проявляется в существовании элементарных частиц со спином 1 (калибровочных векторных бозонов — переносчиков соответствующих взаимодействий) — фотона, в случае абелевой электродинамики, W₁ и Z бозонов в случае неабелевой теории слабых взаимодействий и восьми глюонов в случае квантовой хромодинамики. W₁ и Z бозоны были открыты в 1983 году (К.Рубини и С.ван дер Мер, Нобелевская премия по физике за 1984 год). Предполагается, что переносчики гравитационных взаимодействий являются частицы со спином 2 — гравитоны (экспериментально не обнаружены, но обнаружение гравитационных волн можно считать косвенным подтверждением их существования).

Почти одновременно с началом бурного развития теорий неабелевых калибровочных полей был открыт качественно новый тип симметрии (суперсимметрии), преобразованием которой теория становится нарушенной симметрией (механизм Брауэра-Энглерта-Хиггса, Нобелевская премия по физике за 2013 год), достаточно хорошо изучены. Подчеркнем, что именно неабелева калибровочная симметрия ответственна за перенормируемость эти моделей (в случае моделей со спонтанным нарушением симметрии перенормируемость была доказана Г.Хуффтом, Нобелевская премия по физике за 1999 год), а в теории сильных взаимодействий (модель квантовой хромодинамики) приводит к асимптотической свободе кварков и глюонов (Д.Гросс, Ф.Вильчек и Д.Политцер, Нобелевская премия по физике за 2004 год).

Замечательно, что такие полевые модели, во-первых, предсказывают 10-мерность нашего пространства-времени (наш повседневный опыт говорит нам о том, что наше пространство-время -4-х мерно, остальные 6 измерений свернуты в столь маленькие пространства, что могут наблюдаться только при очень высоких энергиях), а, во-вторых, эти модели возникают как специальные пределы более фундаментальных моделей фермионных струн и суперструн (а возможно и супермембран), обладающих еще более высокой степенью симметрии, связанной с бесконечномерными супералгебрами и супергруппами Ли.

Суперсимметрия, это новый тип симметрии, который в природе еще не обнаружен. С точки зрения эксперимента, суперсимметрия может проявиться в том, что у каждой известной нам элементарной частицы будет наблюдаться партнер, причем, как правило, не один. Например, у электрона должно быть два партнера, с таким же электрическим зарядом, но с более тяжелыми массами и другими свойствами. Все остальные свойства будут такими же как у электрона, и т.д. В настоящее время, на ЛHC (Большой адронный коллайдер) в CERN (Европейский центр ядерных исследований) проводятся эксперименты по поиску возможных проявлений суперсимметрии.

Т.о., в современной физике элементарных частиц симметрия и инвариантность играют основополагающую роль, которая, в частности, сводится к ограничению числа приемлемых теорий, претендующих на описание реальных физических явлений. Сравнительно недавно, при изучении интегрируемых квантовых систем, теория струн, суперсимметричных обобщений неабелевых калибровочных теорий поля и при исследовании других моделей, были открыты принципиально новые симметрии, которые получили название «квантовых симметрий». Эти симметрии связаны с новыми алгебраическими структурами, которые называются «квантовыми группами». Квантовые группы и алгебры в некоторых случаях можно рассматривать как квантование (или, как говорят математики, деформацию), обычных групп и алгебр Ли (математически более корректно говорить о квантовании алгебры Ли группы Ли и квантовании универсальной обертывающей алгебры Ли). Данное квантование сопровождается введением дополнительного параметра q (параметра деформации), который играет роль, аналогичную роли постоянной Планка в квантовой механике. При q → 1 квантовые группы и алгебры переходят в стандартные группы и алгебры Ли, а квантовые симметрии в — обычные симметрии.

Были найдены и изучены примеры статистических и динамических систем с гамилтонианами, инвариантными относительно специального действия квантовых групп. Как выяснилось, квантовые симметрии приводят к наличию у этих моделей большого числа нетривиальных законов сохранения, что существенно и является признаком интегрируемости. Очевидно, что квантовые группы определяют принципиально новый класс симметрий — квантовых симметрий, обобщающих обычные симметрии и суперсимметрии, связанные с супералгебрами и супергруппами Ли. Замечательно, что, если калибровочная инвариантность и суперсимметрия ответственны за перенормируемость (или даже конечность и самосогласованность соответствующих квантовополевых моделей, то квантовые симметрии приводят к их интегрируемости и точной решаемости, что позволяет исследовать такие модели вне рамок теории возмущений.

Оказывается, что исследование квантовых симметрий требует более глубокого понимания геометрии квантовых групп и, в частности, предполагает детальную разработку некоммутативной дифференциальной геометрии квантовых групп. Такие исследования проводятся в рамках бурно развивающегося направления в математике, которое называется некоммутативная геометрия. Об обобщении создания такой геометрии говорить пока рано, хотя достаточно общая программа ее построения существует и была сформулирована известным французским математиком Аланом Конном. Некоторые аспекты некоммутативной дифференциальной геометрии исследуются в работе (А.Р. Исаев, Р. Рухов "Spectral extension of the quantum group coadjoint bundle", Comm.Math.Phys., 288 (2009) 1137-1179).

Следует также упомянуть о некоммутативных деформациях групп Лоренца и Пуанкаре, которые приводят к построению квантовых версий пространства-времени Минковского. Отметим, что теории суперструн также предсказывают некоммутативность нашего пространства-времени и этот предсказание стимулировало многочисленные построения и исследования теории поля на таких некоммутативных пространствах. Интересно, что подобные новые исследования со временем с довольно старыми идеями о существовании изменения структуры пространства-времени при сверх-высоких энергиях или, что самое самое, на очень малых масштабах, порядка планковской длины (1,6·10⁻³³ см). Такие энергии, а соответственно и столь малые структуры, по-видимому, могли реализовываться только на ранних стадиях развития Вселенной.

В заключение хочется отметить основную нерешенную проблему, стоящую перед современной теоретической физикой — это проблема построения КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ, а также включение этой теории в единую теорию, описывающую все существоющие взаимодействия в природе.

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

Докцент Оастина Маргарита Владимировна, область научных интересов: применение гамилтонова формализма к космологическим моделям в ОТО, исследования в направлении физического понимания бигравитации. Описание гравитации уравнениями Эйнштейна, где динамическими переменными являются метрика пространства-времени и поля материи. При переходе к гамильтонному формализму необходимо явно выделить временную координату от пространственных. Состояние системы должно определяться значениями полей гравитации и материи во всех точках пространства в определенный момент времени. Состояние задается на пространственной гиперповерхности, включенной в пространство-время. Течение времени соответствует движению этой гиперповерхности через пространство-время, или непрерывному переходу от одной гиперповерхности состояния к другой. Возможность применения нескольких динамических метрик для описания реального мира обсуждается довольно давно. Его принято называть мультигравитацией. Есть надежда, что такая модификация теории гравитации позволит справиться с проблемой темной энергии. В случае двух метрик модель называется бигравитацией. Предполагается, что каждая из метрик взаимодействует только со «своей» материей, однако посредством некоторого потенциала, метрики могут взаимодействовать между собой. Если лишить одну из метрик энергии, т.е. сделать ее абсолютной, то получается метрическая теория гравитации с заданными формами. В частности, такими являются теории с массивным гравитоном, применяемые для объяснения признаков темной энергии во Вселенной. (В области научных интересов также входят исследования, связанные с попытками понять феномен сознания с точки зрения современной физики.)

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

Профессор Кенкич Олег Вячеславович, область научных интересов: современные обобщения Общей Теории Относительности, появляющиеся в различных режимах теории суперструн (и других реализаций Теории Великого Объединения), представляют собой нелинейные динамические системы с нетривиальными группами скрытых симметрий. Теоретико-групповой анализ, связанный с поиском скрытых симметрий, приложенном к найденным группам симметрий к генерации точных решений и к последующему анализу построенных классов решений составляет суть и основу регулярного подхода к изучению теории указанного типа. В идеальной ситуации интегрируемой системы речь идет в том числе о применении метода обратной задачи теории рассеяния и о других эквивалентных подходах к построению и изучению пространства решений нелинейной теории. Приложения связаны с физикой черных дыр и космологией — имеется в виду весь соответствующий контекст с его реализацией на фактическом материале, связанном с описанием новых точных решений теории.

НАУЧНАЯ ГРУППА О.В. ПАВЛОВСКОГО



Наша научная группа занимается изучением свойств сильно коррелированных сред методами компьютерного моделирования. Такие системы возникают как в физике конденсированного состояния вещества, так и в современной квантовой теории поля, физике частиц и ядерной физике. Близость проблем, возникающих при исследовании сложных нелинейных задач со многими степенями свободы в режиме сильной связи, объединяет все эти различные направления современной физики. Бурное развитие вычислительных систем открыло новые возможности в исследовании таких сложных задач, которых не было ранее. Фактически, современный уровень развития ЭВМ позволяет моделировать квантовые системы с несколькими миллионными степенями свободы, и в будущем эти возможности будут только увеличиваться, расширяя круг доступных для анализа задач.

Одной из самых захватывающих задач такого рода является исследование электронных свойств новых материалов — графена и других диروковских полупроводников. Чем эти вещества так интересны? Дело в том, что по своим электронным свойствам они очень близки к современной квантовой теории поля. В частности, в них есть свои «релятивистские» частицы с сильным взаимодействием друг с другом, и даже своя «гравитация». Эти материалы в определенных твердотельных моделях для изучения релятивистских квантовых процессов в сильных полях. Не стоит так забывать и о том, что эти материалы крайне перспективны в физике легких элементов. Такие характеристики очень важны как для современной астрофизики, теории эволюции звезд и планет-гигантов, а также для энергетики будущего. На рисунке 2 показана типичная картина свечения «трактовой» ядра водорода в квантовом состоянии. В нашей группе было разработано такое релятивистское обобщение метода квантового Монте-Карло моделирования, что открывает широкие перспективы применения этих методов: от физики квантовых твердотельных систем (например, таких как графен) до физики тяжелых ядер и кварк-глюонной плазмы.

Другим важнейшим применением методов квантового Монте-Карло моделирования является квантовая физика многих частиц. Прямые вычисления, исходящие из перенормированной теории, позволяют получить уникальную информацию о поведении многих важных для приложений квантовых систем, например о характеристиках жидкого состояния металлического водорода и другие интересные вопросы. Такие характеристики очень важны как для современной астрофизики, теории эволюции звезд и планет-гигантов, а также для энергетики будущего. На рисунке 2 показана типичная картина свечения «трактовой» ядра водорода в квантовом состоянии. В нашей группе было разработано такое релятивистское обобщение метода квантового Монте-Карло моделирования, что открывает широкие перспективы применения этих методов: от физики квантовых твердотельных систем (например, таких как графен) до физики тяжелых ядер и кварк-глюонной плазмы.

Отегтом, что методы Монте-Карло моделирования квантовых систем обладают высочайшей степенью универсальности. Например, в последнее время все шире эти методы применяются в биологии, физике белков, в науке о нейронных сетях и функционировании мозга, а также в финансовом рынке, анализе и управлении транспортными траекториями и многих других областях. Специалисты в этой области редко оказываются без работы.

Техника Монте-Карло интегрирования контину