



Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

XIV Научная школа

"Нелинейные волны – 2008"

Краткие аннотации лекций

Нижний Новгород
1 – 7 марта 2008

1 МАРТА

**ПЛАЗМЕННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ: ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ,
РЕГУЛЯРНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА ЧАСТИЦ,
ФИЛАМЕНТАЦИЯ И УСКОРЕНИЕ**

Лев Матвеевич Зелёный

Институт космических исследований РАН, Москва

Успешные космические эксперименты, выполненные за 50 лет, прошедших с начала космической эры, дают все больше оснований рассматривать магнитосферу Земли как естественную плазмофизическую лабораторию. Измерения, выполненные в околоземном космическом пространстве, позволили непосредственно обнаружить целый ряд доселе неизвестных важнейших физических явлений: бесстолкновительные ударные волны, радиационные пояса и связанные с ними циклотронно-мазерные эффекты, магнитное пересоединение и связанное с ним сильное ускорение плазмы, двойные слои, авроральное радиоизлучение Земли и многое другое.

Прогресс в понимании физики этих ключевых процессов дал возможность приблизиться к решению многих практических вопросов: пониманию того, как «устроены» полярные сияния, как и почему развиваются магнитные бури, какие основные факторы формируют «космическую погоду» на Земле, на орбитах спутников и межпланетных аппаратов.

Роль магнитного пересоединения, хотя и обсуждающегося с конца 40-х годов в качестве возможного механизма солнечных вспышек, по-настоящему была понята только в последние годы после многозондовых измерений на КА Интербол -1, -2 и четырехспутниковом эксперименте Европейского космического агентства CLUSTER. К сожалению, в исследованиях этого важнейшего явления имелось и имеется много логических противоречий. Основные модели, использовавшиеся при расчетах, были основаны на приближении магнитной гидродинамики (МГД). Большой успех в понимании крупномасштабной структуры магнитосферной динамики был достигнут в последнее десятилетие с помощью метода глобального МГД моделирования, где в качестве необходимого механизма диссипации использовалась искусственно введенная вязкость (естественно полностью отсутствующая в бесстолкновительной магнитосферной плазме). Поэтому становится ясна необходимость гораздо более сложного, но и точного кинетического подхода.

Сложность такого описания связана с тем, что уравнения движения частиц, как правило, неинтегрируемы даже в простейших моделях, применяемых для описания электрических и магнитных полей в магнитосфере. Динамика частиц в общем случае хаотична и трансформация магнитной энергии обеспечивает термализацию плазмы, но, как на первый взгляд кажется, не должна приводить к формированию ускоренных плазменных пучков.

Ситуация, на самом деле, гораздо интереснее. Разность характерных масштабов во многих задачах космической физики (например, сильная вытянутость силовых линий магнитного поля) даёт возможность ввести в задачу малые параметры и соответствующие интегральные инварианты. Задача становится приближенно интегрируемой, и такой подход называется **квазиadiaбатическим**. Движение частиц при этом разбивается на сегменты, где движение адиабатично, и переходы между такими сегментами сопровождаются скачками инвариантов.

Квазиadiaбатическую теорию удаётся детально развить применительно к хвосту магнитосферы Земли. Фактически её можно рассматривать как продолжение классической теории ведущего центра на случай движения частиц в очень слабых магнитных полях. Аналитические расчёты, поддержанные численными экспериментами, предсказывают существование нового явления – специфических резонансов в токовых слоях, движение частиц вблизи которых становится почти регулярным. В результате в «море хаоса» возникают острова регулярного движения. С энергетической точки зрения эти островки соответствуют сильно ускоренным продольным плазменным филаментам.

Измерения российских и зарубежных ИСЗ позволили найти такие квазиadiaбатически ускоренные филаменты, получившие название **бимлетов** (локализованных пучков ускоренных частиц). Подобные ускоренные пучки, движущиеся вдоль магнитных силовых линий, регистрируются обычно в окрестности сепаратрисы между открытыми и закрытыми силовыми линиями магнитного поля. Теория предсказывает, а различные эксперименты подтверждают важное универсальное скейлинговое соотношение, которому подчиняются энергии последовательных пучков в возникающей плазменной «гребенчатой» структуре:

$$W_N \sim N^{4/3},$$

где N – последовательный номер пучка.

Образование подобных пучков, движущихся вдоль силовых линий магнитного поля, сопровождается заметными нелинейными эффектами, так как частицы пучка, при его формировании, дают значительный вклад в поперечный ток, поддерживающий саму магнитную конфигурацию с обращенным магнитным полем. Нелинейные эффекты приводят к характерным явлениям, также наблюдаемым в эксперименте: укрупнению локальной дисперсии бимлетов по сравнению с общей дисперсией всей плазменной структуры. Магнитные флуктуации, связанные с нелинейными токами бимлетов, могут явиться важной составляющей низкочастотной магнитной турбулентности ($\leq 1-2$ Гц), обычно наблюдаемой в хвосте.

Результаты квазиadiaбатических расчетов позволяют по-новому взглянуть на связь кинетических и МГД процессов. МГД описание может рассматриваться как адекватный предел общего кинетического описания в случае, когда отдельные резонансы перекрываются, и отдельные бимлеты сливаются в крупномасштабный пучок с широким распределением по скоростям, подобный тем, что наблюдаются в МГД расчётах.

Докладчик благодарен Й. Бюхнеру, М. Ашур-Абдалле, В. Пероомиану, А. Нейштадту, Д. Вайнштейну, М. Долгоносому, Е. Григоренко, совместно с которыми получены результаты, представленные в данной лекции.

Данная работа поддержана грантами РФФИ №№ 06-02-72651; 07-02-00319 и программой ИНТАС № 06-1000017-8943.

ИСТОЧНИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Александр Михайлович Сергеев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Среди рубежей современной физики, освоенных в последние годы в ряде лабораторий мира, петаваттный (10^{15} Вт) уровень мощности лазерного излучения имеет особое значение. С достижением этого уровня источники сверхсильных полей, помимо своих традиционных областей исследований и приложений, начинают проникать в области, традиционно принадлежащие физике высоких энергий с ее особым инструментарием – синхротронами и линейными ускорителями заряженных частиц ГэВных энергий. Причина такого проникновения в том, что уже имеющиеся в лаборатории источники мощных фемтосекундных импульсов способны генерировать в процессах нелинейного взаимодействия с веществом потоки ускоренных частиц с энергиями, сравнимыми с получаемыми на ускорительной технике. При этом компактность и дешевизна лазерных установок в сравнении с традиционными ускорителями и перспективы дальнейшего масштабирования мощности фемтосекундного оптического излучения позволяют сегодня начать серьезное обсуждение проектов, казавшихся еще вчера фантастическими, таких как пробой вакуума в сфокусированном световом пучке или получение мини черных дыр в лазерной лаборатории.

В этой лекции будет рассказано об основных достижениях в лазерной физике и нелинейной оптике, позволивших получить петаваттные оптические импульсы, об истории создания нескольких наиболее мощных установок и о современных проектах использования экстремальных световых полей в фундаментальных и прикладных исследованиях.

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА В СВЕРХСИЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЯХ – I, II

Николай Борисович Нарожный

Московский инженерно-физический институт

Любой эффект взаимодействия электронов и фотонов в принципе может быть описан в рамках современной квантовой электродинамики (КЭД), так что ее разработку как физической теории можно считать завершенной. Однако, существует специальный класс эффектов, которые пока еще слабо изучены, по крайней мере, экспериментально. Это – эффекты, которые происходят в присутствии настолько сильных электромагнитных полей, что амплитуды квантовых процессов проявляют нелинейную зависимость от напряженности внешнего поля и КЭД становится, вообще говоря, теорией с нестабильным вакуумом. Изучение таких эффектов представляет теоретический интерес. Однако, современное развитие техники получения интенсивных полей с помощью лазеров делает КЭД явлений в сильных полях весьма актуальным направлением и с экспериментальной точки зрения.

В лекциях, на примере нелинейного эффекта Комптона и рождения пары фотоном, рассматриваются методы вычисления и структура вероятностей простейших процессов в поле плоской монохроматической волны. Обсуждаются первые эксперименты по проверке нелинейной квантовой электродинамики, осуществленные на стэнфордском ускорителе SLAC.

В силу того, что лазерные поля высокой интенсивности в ближайшем будущем можно будет получить только в виде коротких и сильно сфокусированных импульсов, обсуждаются методы расчета квантовых эффектов в таких полях. Рассмотрены эффекты в сильно сфокусированном лазерном поле, которые не могут происходить в поле плоской волны, в частности, пондеромоторное ускорение электронов, рождение электрон-позитронных пар и генерация гармоник одиночным лазерным импульсом в вакууме.

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИКИ

Олег Владимирович Руденко

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В связи с тем, что это сообщение поставлено первой лекцией цикла «Нелинейность и живые системы» на Школе-2008, во вводной части дается краткий обзор истории вопроса – рассказывается о близких по содержанию лекциях, читавшихся на предыдущих школах, а также о разнообразии нелинейных процессов в живых системах.

Содержательная часть лекции построена следующим образом. Вначале напоминаются основные нелинейные явления, используемые для воздействия на внутренние органы человека. Затем дается перечень приборов и технологий, в которых нелинейные акустические явления используются для лечебных или диагностических целей. Рассказывается о работах в этой области, ведущихся у нас и за рубежом, приводятся сравнительные оценки перспектив и динамики финансирования. В заключение рассказывается о малоизвестных исторических фактах, серьезно повлиявших на развитие нелинейной акустики в СССР.

КИНЕТИЧЕСКИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ И ВЗРЫВЫ В РЕГУЛЯЦИИ СВЕРТЫВАНИЯ КРОВИ

Георгий Теодорович Гурия^{1,2}

¹ Гематологический научный центр РАМН, Москва

² Московский физико-технический институт

Смена агрегатного состояния крови анализируется в свете представлений об устойчивости кинетических механизмов регуляции ее свертывания. Анализ современных представлений о каскадных механизмах, управляющих генерацией тромбина (ключевого фактора системы свертывания крови), показывает, что активация тромбина носит отчетливо выраженный пороговый характер. При запороговой стимуляции в крови имеет место взрывное автокаталитическое производство тромбина, в то время как при допороговой стимуляции, тромбин производится в фоновых количествах. Тромбин обеспечивает конверсию фибриногена в фибрин-мономер, последний, полимеризуясь, формирует трехмерную фибриновую сеть, образуя тромб. Ассоциация фибрин-мономерных и фибрин-олигомерных молекул при формировании тромбов, также как и их фрагментация, проанализированы с помощью статистических методов. Обнаружено, что даже при допороговой активации системы свертывания крови, формирование тромбов может происходить за счет взрывных сугубо полимеризационных процессов. Построены параметрические диаграммы состояний. Дано истолкование основных типов неустойчивостей регуляции свертывания крови в биологических и медицинских терминах.

2 МАРТА

УРАГАНЫ: ПОЛЯРНЫЕ И ТРОПИЧЕСКИЕ, КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Георгий Сергеевич Голицын

Институт физики атмосферы РАН, Москва

Соображения подобия и размерности в применении к конвекции во вращающейся жидкости позволяют определить размеры и горизонтальные скорости возникающих вихрей. Для этого надо знать поток плавучести в жидкости и угловую скорость её вращения. Предварительные попытки автора показали, что таким образом можно правильно оценить размеры, скорости ветра и полную кинетическую энергию как для тропических циклонов (ТЦ) так и для полярных ураганов (ПУ), называемых часто взрывными мезоциклонами из-за большой скорости их развития (всего за несколько часов). На основе климатологии, балк-формул и масштаба скорости конвекции во вращающейся жидкости оцениваются потоки явного и скрытого тепла при ветрах $V = 33$ м/с и соответствующие им потоки плавучести. В тропиках при ураганных ветрах $V > 33$ м/с и климатологической влажности воздуха 80% суммарный поток тепла при температуре водной поверхности $T > 26^\circ\text{C}$ становится близким к 700 Вт/м^2 и выше.

Благодаря уравнению Клайперона-Клаузиуса при меньших значениях T поток скрытого тепла в атмосферу, в тропиках это главная часть потока, заметно уменьшается. Таким образом, не температура T , а поток энергии от океана в атмосферу величиной в 700 Вт/м^2 и выше следует считать первым необходимым условием для возникновения ТЦ.

Другим условием следует считать небольшие значения статической устойчивости атмосферы, которая должна быть, по крайней мере, вдвое ниже его климатологического значения. В полярных регионах требуются полные потоки примерно вдвое большие, чем в тропиках, для образования взрывных мезоциклонов, ПУ, что объясняется существенно меньшей ролью скрытого тепла и большей статической устойчивостью там атмосферы. Потоки энтальпии и скорости ветра взаимосвязаны: чем больше поток, тем сильнее конвекция, тем выше концентрация углового момента в поднимающемся конвективном столбе воздуха и тем больше азимутальная скорость в возникающем вихре, что в свою очередь усиливает отбор энергии от океана. Рассмотрение проблемы с помощью простой аналитики позволяет надеяться, что данный материал может быть использован и в образовательных целях.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЕТРА И ВОЛН ПРИ УРАГАНАХ

Юлия Игоревна Троицкая

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Одним из важнейших факторов, определяющих динамику тропических ураганов и полярных мезоциклонов над морем, является взаимодействие атмосферного пограничного слоя с океаном. Количественной характеристикой этого взаимодействия является коэффициент аэродинамического сопротивления морской поверхности. На основании проведенных в последнее время измерений скорости ветра и турбулентных потоков при полетах через тропические циклоны на малых высотах над уровнем моря, а также с падающих GPS-зондов было открыто явление снижения (или насыщения) коэффициента аэродинамического сопротивления при ураганном ветре (эффект кризиса сопротивления).

В лекции представлен обзор возможных механизмов снижения (насыщения) коэффициента сопротивления морской поверхности. В частности, обсуждается механизм, обусловленный влиянием брызг и струй, возникающих при отрыве ветром гребней волн. Также описаны механизмы, связанные с отрывом ветрового пограничного слоя от поверхности воды, а также механизмы, связанные с особенностями нелинейного взаимодействия волн и ветра при безотрывном обтекании поверхности воды. Детально обсуждается квазилинейная модель турбулентного ветрового потока над взволнованной водной поверхностью, которая позволяет объяснить насыщение аэродинамического сопротивления морской поверхности за счет снижения относительной эффективности взаимодействия ветра и волн при ураганных условиях. Приведено сопоставление теоретических выводов с данными натуральных и лабораторных экспериментов.

Приводятся результаты расчетов эволюции полярного мезоциклона с использованием различных моделей сопротивления морской поверхности и обсуждаются их особенности.

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА В СВЕРХСИЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЯХ – II

Николай Борисович Нарожный

Московский инженерно-физический институт

См стр. 3.

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПЛАЗМЕННЫМИ ВОЛНАМИ – I

Александр Михайлович Пухов

Университет Дюссельдорфа, Германия

Лекция даёт обзор ускорителей электронов на кильватерной плазменной волне (wake field acceleration). Основным преимуществом плазменного ускорителя являются сверхсильные ускоряющие поля и как следствие высокий градиент набора энергии. Современные плазменные ускорители имеют градиенты ускорения до 100 ГэВ/м, что на три порядка выше, чем у обычных ускорителей. Таким образом, плазменный теравольтовый ускоритель может быть намного более компактным, чем ускоритель, построенный по обычной технологии.

В лекции будут рассмотрены основные режимы лазерного ускорителя на плазменной кильватерной волне:

- 1) одномерный режим возбуждения слабонелинейной плазменной волны коротким лазерным импульсом;
- 2) режим самомодуляции длинного лазерного импульса;
- 3) трёхмерный сильнонелинейный пузырьковый режим.

Также будут обсуждаться основные ограничения на максимальный набор энергии за счёт дефазировки ускоряемых электронов, диффракции лазерного драйвера и нагрузки волны пучком электронов.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ: ПРОБЛЕМЫ, ТЕОРИИ И ПОДХОДЫ

Константин Владимирович Анохин

Институт нормальной физиологии РАНН, Москва

Мозг человека состоит из $\sim 2 \times 10^{11}$ нервных клеток. Большинство из них находится в мозжечке, который содержит 12×10^{10} нейронов. Следующей по числу нейронов является кора больших полушарий, с деятельностью которой связаны основные высшие психические функции. В ней содержится около 2×10^{10} нейронов. Их средняя плотность составляет $44000/\text{мм}^3$. Каждый из этих нейронов образует в среднем 10^5 синаптических контактов с другими нервными клетками, большинство из которых также расположено в коре головного мозга. Расчеты, полученные на основе нейрофизиологических экспериментов или метаболического картирования, показывают, что нейроны бодрствующего мозга изменяют свою активность в составе обширных распределенных популяций, насчитывающих до 10^7 одновременно работающих клеток.

Для понимания фундаментальных принципов работы таких систем, опосредующих феномены мышления, памяти, интеллекта и сознания, необходимы новые теории и подходы, являющиеся предметом системной нейронауки (“systems neuroscience”). Ключевой проблемой системной нейронауки являются принципы самоорганизации больших функциональных систем и упорядочивания их гиперрастронических степеней свободы. Очевидно, что при изучении этих проблем, науки о мозге должны вступить в контакт с математикой и физикой, имеющими опыт в исследовании и осмыслении принципов функционирования подобного рода сложных нелинейных систем.

Существуют как минимум две области, в которых функции нервной системы демонстрируют существенную нелинейность. Первая связана с интегративной деятельностью отдельных нервных клеток. Из примерно 10^5 контактов, которыми обладает средний нейрон, для его деполяризации и генерации выходного потенциала действия требуется одновременная конвергенция возбуждений по нескольким десяткам синаптических входов. Это делает импульсную активность каждой нервной клетки высоко нелинейным процессом. Его нелинейность усиливается тем, что состояние нейрона, влияющее на пороги генерации потенциала действия, может модулироваться целым рядом дополнительных факторов, в частности, метаболическими состояниями клетки. Изучение закономерностей этих процессов может явиться одной из областей взаимодействия экспериментальной нейрофизиологии с моделированием и исследованиями в области нелинейной динамики.

Вторым фундаментальным фактором, определяющим нелинейность процессов в нервной системе, является свойство целенаправленности работы нервных сетей. Нейрофизиологические исследования показывают, что процессы в бодрствующей нервной системе в гораздо большей степени детерминированы не внешними стимулами и линейной логикой распространения возбуждения от рецепторов к эффекторам, а целями и будущими результатами поведения, извлекаемыми из памяти. Любая динамическая теория мозга должна учитывать эти факторы, проявляющиеся в деятельности как отдельных нервных клеток, так и целых функциональных систем, определяющих поведение и высшие нервные функции.

В лекции будут рассмотрены результаты новых нейрофизиологических экспериментов, иллюстрирующих эти свойства нелинейности процессов в нервной системе, и обсуждены основные теоретические вопросы, которые могли бы явиться предметом внимания специалистов в области нелинейной динамики.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БИОЛОГИИ

Дмитрий Сергеевич Чернавский

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Тема доклада – математическое моделирование процессов возникновения новой информации и эволюции её ценности в живых системах.

Согласно Г. Кастлеру, новая информация – результат свободного и запомненного выбора одного варианта из нескольких возможных. Слово "свободный" здесь означает, что выбор должен быть непредвзятым и в значительной мере случайным. Для этого необходимо, чтобы система (или человек), совершающая выбор, находилась в неустойчивом состоянии, т.е. в так называемом "перемешивающем слое" (ПС). Он соответствует промежуточным стадиям эволюции. "Перемешивающий слой", когда необходимо сделать выбор в условиях недостатка информации (т.е. создать новую информацию), продолжается определенное время (в течение которого система ведет себя хаотически) и заканчивается в момент, когда выбор сделан. Последний называется "моментом истины". Примером ПС является промежуточный этап игры в рулетку.

Условная информация – выбор, сделанный в результате взаимодействия особей в коллективе. Примеры условной информации: код (в частности, генетический), язык и т.п.

Ценность информации i -ого типа W_i определяется как

$$W_i = \log_2 \frac{P_i^{fin}}{P_i^{in}},$$

где P_i^{fin} и P_i^{in} – вероятности достижения цели после получения информации i -ого типа (т.е. выбора i -ого варианта) и до него.

Рассмотрены математические модели ПС и обсуждены признаки выхода из него.

Рассмотрена модель генерации условной информации и эволюции её ценности. В рамках той же модели показано, что главная *цель* живых объектов – сохранение и распространение *своей* информации. Это положение является расширением концепции борьбы за существование Ч. Дарвина.

Показано, что модель *описывает* образование единого генетического кода, возникновение биологической асимметрии, взаимодействие видов в одной экологической нише и ряд других явлений, включая исторические и экономические.

3 МАРТА

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОТОННОЙ АТФ-СИНТАЗЫ – ЭНЕРГО-ПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАШИНЫ ЖИВОЙ КЛЕТКИ

Юрий Михайлович Романовский

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Подавляющее число молекул АТФ (около 80 %) – основной энергетической валюты живой клетки – производится мембранными АТФ-синтазами, являющимися самыми маленькими в природе молекулярными моторами с характерным размером около 10 нм. Всего за сутки в человеческом организме синтезируется и потребляется в среднем 50 кг молекул АТФ. АТФ-синтаза – обратимая молекулярная машина, способная катализировать как синтез, так и гидролиз АТФ.

Встроенная в энергопреобразующую мембрану АТФ-синтаза, состоящая из неподвижного (статора) и подвижного (ротора) фрагментов, работает как вращающийся электромотор-генератор. В режиме синтеза АТФ из АДФ и ортофосфата (Pi) направленное вращение ротора протонной АТФ-синтазы обеспечивается за счет энергии трансмембранной разности электрохимических потенциалов ионов водорода. В режиме гидролиза АТФ ротор АТФ-синтазы вращается в обратном направлении, обеспечивая генерацию протонного тока.

Дается краткий обзор известных в литературе математических моделей, описывающих работу АТФ-синтазы, а также излагаются результаты моделирования динамики АТФ в режимах синтеза и гидролиза в рамках разработанной нами флюктуационно-динамической модели. Модель представляет собой систему 7-ми уравнений: динамического уравнения, описывающего вращение подвижной субъединицы – гамма-ротора, и 6-ти кинетических уравнений, описывающих кооперативные изменения состояний трех каталитических центров, расположенных в трех бета-субъединицах, связывающих АТФ, АДФ и неорганический фосфат Pi. Описывается взаимодействие между субъединицами альфа и бета, оценивается время проникновения молекул АТФ в активный центр. При гидролизе АТФ в режиме насыщения АТФ-синтазу можно рассматривать как автоколебательную систему. Результаты моделирования хорошо согласуются с литературными данными по кинематике вращения ротора протонной АТФ-синтазы.

Лекция иллюстрируется функциональными схемами молекулярного мотора и схемами оптических установок, позволивших непосредственное наблюдение за вращением ротора. Формулируются нерешенные проблемы.

Литература

1. Jianhua X., Jung-Chi L., and George O., “Making ATP”, PNAS (2005) **102**, 16539–16546.
2. Böckmann R, Grubmüller H., “Nanoseconds molecular dynamics simulation of primary mechanical energy transfer steps in F₁-ATP synthase”, *Nature Struct. Biol.*, (2004) **9**, 198-202.
3. Adachi K. et al., “Coupling of rotation and catalysis in F₁-ATPase revealed by single-molecule imaging and manipulation”, *Cell*, (2007), **130**, 309-321.
4. Pogrebnaya A., Romanovsky Yu., Tikhonov A., “Rotation of ATPase: The stochastic model”, *Fluctuation and Noise Letters*, (2005), **5**, L217-L224.

МЕХАНИЗМЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Андрей Александрович Полежаев

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Биологический морфогенез, т.е. возникновение новых форм и структур, как в индивидуальном развитии организма, так и в результате взаимодействия сообществ организмов, является фундаментальной и пока далёкой от решения проблемой современной биологии. Однако интерес к морфогенезу не ограничивается пределами одной только биологии. Его следует рассматривать в контексте тенденции современного естествознания – стремлении понять функционирование таких сложных и целостных систем, для которых неэффективны традиционные методы анализа и редукции и которые не сводимы к простой сумме своих элементов. Определенный прогресс, который достигнут в последнее время в понимании биологического морфогенеза, связан с применением физико-математических (синергетических) методов теории самоорганизации неравновесных открытых систем как биологических, так и небиологических.

В своей лекции я продемонстрирую на ряде примеров, как формировались современные представления о механизмах биологического формообразования, и каково состояние этой проблемы на данный момент. При построении теории биологического морфогенеза необходимо учитывать, что а) каждая клетка содержит в себе всю генетическую информацию, которая, однако, ничего не говорит ни о форме и структуре организма, ни о функции данной клетки; б) функции клетки реализуются в конкретном микроокружении в результате взаимодействия с соседними клетками. Таким образом, морфогенез есть результат самоорганизации открытой неравновесной динамической системы, каковой является любая живая система.

Первые модели биологического морфогенеза основывались на идее Тьюринга, высказанной им в 1952 году в классической работе «О химической основе морфогенеза», о том, что возникновение структур есть результат потери устойчивости пространственно-однородного состояния (тьюринговская бифуркация). Хорошо известными примерами таких моделей являются модель Гирера-Майнхрда морфогенеза гидры и модель, предложенная Марри с соавторами для объяснения раскраски шкур животных. К моделям по сути этого же типа можно отнести механические и механохимические модели структурообразования в клеточных пластах, в которых переменными являются не только концентрации химических веществ, но и механические свойства тканей – деформации и напряжения.

В последующем стало ясно, что биологическое формообразование может происходить не только как результат возникновения диссипативных структур вследствие тьюринговской бифуркации, но и по другим механизмам. В частности, было показано, что к формированию пространственных структур может приводить недиагональность матрицы диффузии, например, хемотаксис (направленное движение по градиенту вещества) у бактерий и у амёб *D. Discoideum*, конвекционные потоки веществ (“differential flow” instability), которые, в частности, ответственны за электрохимические структуры на поверхности некоторых клеток. Наконец, структуры могут возникать как результат взаимодействия двух подсистем: автоволновой и автоколебательной. По такому механизму формируются сомиты, предшественники структур позвоночного столба, у высших животных.

АТТОСЕКУНДНЫЕ СВЕТОВЫЕ ИМПУЛЬСЫ

Михаил Юрьевич Рябкин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Последние несколько лет отмечены значительными успехами в создании источников световых импульсов субфемтосекундной длительности и в разработке методик их применения для зондирования и контроля сверхбыстрых процессов в веществе. Достигнутый в этой области прогресс ознаменовал возникновение нового научного направления – аттосекундной физики. Перспективы метрологических применений аттосекундных импульсов связаны с открывающимися возможностями осуществления прямых экспериментальных наблюдений процессов, протекающих на временных масштабах, сравнимых с характерным временем движения электронов в атомах $t_a = \hbar^3 / (m_e e^4) \approx 24$ ас (1 ас = 10^{-18} с) (здесь \hbar – постоянная Планка, m_e и e – масса и заряд электрона соответственно).

Основные достижения в получении аттосекундных импульсов связаны с использованием сильно нелинейного процесса генерации высоких гармоник лазерного излучения в газах. В лекции подробно рассматривается физическая картина этого процесса, при этом большое внимание уделяется особенностям динамики электронного волнового пакета при лазерной ионизации атома, приводящим к формированию платообразного распределения в высокочастотной области спектра излучения при столкновениях электронов с родительскими ионами и обеспечивающим возможности синхронизации генерируемых гармоник. Представлены ключевые идеи, триумфальным результатом последовательной реализации которых явилось получение в недавних экспериментах одиночных световых импульсов длительностью 130 ас, с энергиями фотонов порядка 36 эВ и стабилизированным временным профилем поля. Рассказываются об основных принципах и первых успехах аттосекундной метрологии.

ГЕНЕРАЦИЯ ВЫСОКИХ ГАРМОНИК И АТТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В РЕЛЯТИВИСТСКОМ РЕЖИМЕ

Александр Михайлович Пухов

Университет Дюссельдорфа, Германия

Генерация высоких гармоник на границе плотной плазмы является одним из перспективных источников коротковолнового излучения. Недавно было показано аналитически и проверено численно, что спектр интенсивностей высоких гармоник есть степенная функция $I_n/I_0 \sim n^{-8/3}$, где n – это номер гармоники. Этот степенной спектр простирается до гармоники с номером $n_{\text{cutoff}} \sim \gamma^3$, где γ – это релятивистский фактор электронов поверхности плазмы, колеблющихся в сильном лазерном поле. На больших n , начинается экспоненциальное обрезание спектра. Теория генерации гармоник в релятивистском режиме основана на явлении релятивистских γ -пиков в движении плазменной поверхности. Одним из важнейших предсказаний аналитической теории является полная корреляция фаз гармоник и их излучение в виде цуга (суб-)аттосекундных импульсов. Более того, механизм генерации гармоник даёт возможность контролировать момент излучения аттосекундного импульса за счёт поляризации лазера как функции времени. Недавние эксперименты на установке VULCAN (Rutherford Lab, U.K.) подтвердили универсальный спектр гармоник, а также обрезание на $n_{\text{cutoff}} \sim \gamma^3$.

ДИНАМО В ЗВЕЗДАХ И ПЛАНЕТАХ

Дмитрий Дмитриевич Соколов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Динамо - концепция, сформулированная Лармором в 1919 г., согласно которой происхождение магнитного поля Солнца связано с эффектом электромагнитной индукции в движущейся солнечной плазме. Это представление естественно переносится на другие звезды, похожие на Солнце, и развивается в концепцию звездного динамо. Далее концепция переносится на Землю и планеты, в связи с чем говорят о геодинамо. Поле скорости, генерирующее магнитное поле, и сам процесс генерации тоже называют динамо. Необходимость специального механизма, создающего солнечное магнитное поле, вытекает из феномена солнечного цикла, в ходе которого направление магнитного поля Солнца меняет знак.

Базовый механизм динамо основан на совместном действии дифференциального вращения и особого свойства конвективного (или турбулентного) потока проводящей жидкости, вовлеченной в общее вращение, называемого α -эффектом и указанного Штеенбеком, Краузе и Рэдлером в 1966 г. α -эффект связан с нарушением отражательной симметрии конвекции, возникающей во вращающейся стратифицированной жидкости в результате действия силы Кориолиса. Вклад в α -эффект вносит и отражательно-неинвариантная компонента мелкомасштабного магнитного поля Солнца, которая характеризуется *магнитной спиральностью*. α -эффект проявляется в том, что электрическое поле и электрический ток, осредненные по конвективным пульсациям, приобретают компоненту, параллельную магнитному полю, также осредненному по конвективным пульсациям. α -эффект приводит к превращению тороидального магнитного поля в полоидальное. Дифференциальное вращение превращает полоидальное магнитное поле в тороидальное, что замыкает цепь самовозбуждения магнитного поля в механизме т.н. $\alpha\omega$ -динамо.

α -эффект приводит к превращению полоидального магнитного поля в тороидальное и без участия дифференциального вращения. Такой механизм генерации называют α^2 -динамо. Он может работать в некоторых тесных двойных системах, дифференциальное вращение которых подавлено приливными взаимодействиями. Механизм $\alpha^2\omega$ -динамо учитывает оба способа превращения полоидального магнитного поля в тороидальное. Представляется, что $\alpha^2\omega$ -механизм с.д. лишь уточняет свойства $\alpha\omega$ -механизма.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТУРБУЛЕНТНОЕ ДИНАМО В ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

Евгений Анатольевич Мареев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Проблема генерации крупномасштабного электрического поля в слабопроводящей среде (электрическое динамо) имеет фундаментальное значение для электродинамики атмосферы, астрофизики, электроэнергетики. Наиболее яркие проявления электрического динамо связаны с многофазными дисперсными системами, содержащими аэрозоли или гидрометеоры, которые могут обмениваться зарядом при столкновениях. Именно в таких условиях, как известно, формируются наиболее сильные поля в атмосфере (грозовые облака, пылевые и снежные бури). Эксперименты указывают также на важную роль турбулентности для атмосферного электричества. В условиях грозового или пылевого

облака турбулентное перемешивание частиц приводит к многопоточности, а возможность обмена зарядом при столкновениях частиц, чрезвычайно усложняя задачу, делает ее особенно разнообразной и интересной. Основной вопрос заключается в том, играет ли турбулентность при этом лишь разрушительную роль, частично компенсируя ток зарядки гидрометеоров, или при определенных условиях турбулентный конвективный ток может обеспечивать поддержание крупномасштабной структуры электрического поля.

В данной лекции проблема турбулентного электрического динамо рассмотрена применительно к грозовым облакам, обладающим обычно высокой молниевой активностью. Дан обзор различных механизмов разделения заряда. Кратко обсуждается вопрос о роли турбулентного электрического динамо в функционировании глобальной электрической цепи в атмосфере.

Проанализированы общие критерии роста среднего поля, роль сжимаемости среды и спиральности турбулентности в реализации динамо. По сравнению с магнитным динамо, которое принципиально имеет трехмерный характер, квазистатическое электрическое поле (т.е. градиент потенциала) фактически скалярно, поэтому "центр тяжести" в данной задаче переносится на усложнение структуры среды и учет ее неоднородности.

В условиях облачной среды турбулентность играет принципиальную роль, постоянно перемешивая гидрометеоры и обеспечивая тем самым разность скоростей различных сортов облачных частиц, обладающих разной массой. При индукционной зарядке, когда величина передаваемого заряда зависит от внешнего электрического поля, независимо от знака относительной скорости движения тяжелых и легких гидрометеоров, их столкновения приводят к положительному вкладу в ток крупномасштабного разделения зарядов. При этом рост размеров частиц, увеличение их концентраций, наряду с ростом внешнего масштаба турбулентности и уменьшением проводимости, способствуют росту среднего электрического поля.

Таким образом, исследование проблемы электрического динамо в турбулентной слабопроводящей среде приводит к выводу о том, что турбулентность при определенных условиях способна поддерживать крупномасштабное электрическое поле.

ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ КАК НЕЛИНЕЙНОЕ ЯВЛЕНИЕ

Дмитрий Иванович Грубецков

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

В какой-то мере эти лекции являются продолжением лекций по кентавристике Д.С. Данина, которые были прочитаны на школе «Нелинейные волны – 2004». Они посвящены мультикентавру эпохи Возрождения Леонардо да Винчи – мыслителю, ученому, инженеру, изобретателю, художнику. Как и для любой сложной системы (особенно такой сверхсложной, как Леонардо да Винчи), ее поведение интересно вблизи особых точек, начиная с момента рождения гения. В лекции последовательно прослеживается жизнь Леонардо да Винчи на фоне различных творений мастера. Сделана попытка представить спектрограмму интересов Леонардо да Винчи, состоящую из многих больших пиков, которые при ближайшем рассмотрении имеют тонкую структуру.

Из жизнеописания Леонардо да Винчи можно заключить, что стиль и пространственно-временные характеристики жизни и творчества великого флорентийца позволяют рассматривать его как нелинейную сильно неравновесную систему с четко выраженными аттракторами, которым соответствуют линии в спектрограмме. Причем, переходы из области притяжения одного аттрактора к другому не сопровождались у него частыми катастрофами и бифуркациями, а происходили плавно. Впрочем, на жиз-

ненном пути Леонардо да Винчи все же были и бифуркации, когда он был вынужден менять покровителей (Медичи, Лодовико Сфорц, Франциск 1) и место обитания (Италия, Франция), и катастрофы (разрушение знаменитой фрески «Тайная вечеря», которое началось почти сразу после окончания работы над ней).

Один из исследователей творчества Леонардо да Винчи американский физик и художник Аталай Бюлент удачно подчеркивает взаимодействие различных направлений в деятельности Леонардо да Винчи следующей фразой: «Работы Леонардо столь целостны благодаря его синергетическому подходу, полному симбиозу различных областей знаний».

Раскрытию этого симбиоза посвящена вторая лекция.

4 МАРТА

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Валентин Сендерович Афраимович

Университет Сан-Луис Потоси, Мексика

В начале 30-х годов 20 века А.А. Андронов очертил контуры новой науки, которая сейчас называется Нелинейная Динамика. Среди высказанных им многих замечательных идей мы напомним одну о том, что можно, грубо, разделить эту науку на две части: 1) общая теория и 2) методы работы с конкретными математическими моделями нелинейных процессов в природе и индустрии. В последние 40 лет был осуществлен замечательный прогресс в создании и развитии общей теории динамических систем, в первую очередь, благодаря работам советских и американских специалистов. Что касается второй части теории, то здесь успехи значительно скромнее. Нам кажется, что в последние несколько лет все больше и больше людей, занимающихся нелинейной динамикой, интересуются не только прикладными задачами, но и тем, какими методами их лучше решать, а если имеющихся методов недостаточно, то делаются попытки создать новые. Эта лекция посвящена краткому описанию современного состояния общей теории динамических систем, а также некоторым задачам их приложения.

НЕЛИНЕЙНО-ДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ НЕЙРОФИЗИОЛОГИИ

Владимир Исаакович Некоркин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Последнее десятилетие характеризуется увеличивающимся проникновением методов нелинейной динамики в нейронауку. Получен ряд интересных результатов о динамике нейронных систем, многие виды нейронной активности получили адекватную интерпретацию в терминах теории динамических систем. Такие понятия, как регулярные и хаотические аттракторы, устойчивость, область притяжения, бифуркации и др. прочно вошли в обиход целого направления, связанного с изучением методами нелинейной динамики различных аспектов мозговой активности. Формирование этого направления вполне объяснимо. Во-первых, благодаря значительному прогрессу в развитии методов регистрации нейронной активности (оптический нейроимиджинг, позитронно-эмиссионная томография, магниторезонансные изображения и др.) получено большое число новых экспериментальных данных о режимах как отдельных нейронов, так и целых нейронных систем. Эти результаты послужили фундаментом для многих современных исследований в области нелинейной динамики нейронных систем. Во-вторых, к настоящему времени и теория динамических систем также получила значительное развитие. Сейчас построена, в основном, теория бифуркаций многомерных динамических систем и, в частности, достаточно полно изучена теория перехода от детерминированного поведения к хаотическому, проведено исследование нелинейных волн и локализованных состояний во многих пространственно-распределенных системах и др. Наконец, в-третьих, сама эволюционная природа и свойства режимов нейронных систем стимулируют привлечение методов нелинейной динамики в нейронауку.

В лекции обсуждается роль динамического подхода в исследовании пространственно-временных паттернов нейронной активности, генерируемых различными структурами нервной системы. Рассматриваются динамические модели как отдельных нейронов, так и малых и больших нейронных ансамблей. Раскрываются динамические механизмы формирования сложных, в том числе хаотических, паттернов. Показано, что такие структуры ассоциируются с существованием у системы для бегущих волн разнообразных гетероклинических контуров и формируются за счет одновременной неустойчивости большого числа автоволн в виде импульсов и волновых фронтов. Обнаружено, что в двумерном бистабильном ансамбле модельных нейронов с осцилляторным порогом возможно существование устойчивых локализованных структур активности, обладающих автоволновыми свойствами. Несмотря на наличие бистабильности, такие структуры не “переключают среду” из одного равновесного состояния в другое, а имеют форму пространственно-локализованных образований, распространяющихся с постоянной скоростью.

Литература

1. *Nekorkin V.I., Velarde M.G.*, Springer-Verlag, 2002, 357p.
2. *Некоркин В.И.*, УФН, 2008, **178**(3).
3. *Некоркин В.И. и др.*, Математическое моделирование, 2005, **17**(6), 75.
4. *Некоркин В.И., Вдовин Л.В.*, Изв. ВУЗов ПНД, 2007, **15**(5).
5. *Courbage M., Nekorkin V.I., Vdovin L.V.*, Int. J. Chaos, 2007, **17**.
6. *Courbage M., Kazantsev V.B., Nekorkin V.I., Senneret M.*, Int. J. Chaos, 2004, **12**.
7. *Kazantsev V.B., Nekorkin V.I., et al.*, Phys. Rev. E, 2003, **68**, 017201.
8. *Некоркин В.И., Щапин Д.С., Дмитричев А.С.*, Изв. ВУЗов ПНД, 2007, **15**(1).
9. *Дмитричев А.С., Некоркин В.И.*, “ХАОС – 2007”, 9-14 октября, Саратов, с. 49.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ФИЗИКЕ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Сергей Владимирович Гарнов

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

Цель лекции: дать представление об экспериментальных методах исследования сверхбыстрых процессов и механизмов плазмообразования и генерации электромагнитных волн в газах и конденсированных средах под действием высокоинтенсивных, остросфокусированных, ультракоротких лазерных импульсов фемтосекундной длительности.

Общие представления о плазме.

Плазма – так в 1928г. И. Ленгмюр назвал 4-ое агрегатное состояние вещества. С греческого слово "плазма" – *πλάσμα* – переводится как «творение», либо как «вымысел». Так вымысел ли это!? Плазма во Вселенной и вокруг нас.

Лазерная плазма.

Что это такое и почему мы ее изучаем? Лазерный термоядерный синтез. Моделирование поведения вещества в экстремальных условиях. Фемтосекундная лазерная микроплазма.

Методы регистрации и диагностики лазерной плазмы.

Фемтосекундная интерферометрия - прецизионный метод исследования динамики формирования пространственно-временной структуры плазмы. Измерение показателя преломления и электронной плотности плазмы. Сверхбыстрая спектроскопия - прецизионный метод исследования динамики излучения плазменных образований.

Примеры экспериментальных исследований.

Динамика формирования электронной плотности микроплазмы многократно ионизированных газов. Динамика формирования спектров микроплазмы многократно ионизированных газов. Микроплазма в объеме прозрачных твердых тел.

Теоретическое моделирование процессов формирования фемтосекундной лазерной плазмы.

Фотоионизация, лазерный нагрев электронов, ударная ионизация.

ФЕМТОСЕКУНДНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ СВЕРХТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕМЕНИ

Петр Георгиевич Крюков

Научный центр волоконной оптики РАН, Москва

Одним из важнейших применений колебаний и волн является измерение времени. Обычно измерение времени производится считыванием числа периодов какого-либо стабильного периодического процесса. Стремление измерять время с высокой точностью способствовало техническому и научному развитию нашей цивилизации. Помимо стабильности периодического процесса, точность измерений определяется также тем числом периодов, которые укладываются в измеряемый интервал времени. Поэтому, чем выше частота повторения колебательного процесса, выбранного для измерения времени, тем большую относительную точность можно получить при измерении определённого интервала времени. На протяжении всей истории, вращение Земли (смена дня и ночи) было естественным мерилем времени. Хотя вращение Земли стабильно,

большой период вращения неудобен для точных измерений. Поэтому его желательно сопоставить с периодическим процессом большей частоты. С этой целью используется маятник и система шестерёнок. Получается классическая схема часов. Однако, исследования показали, что вращение Земли непостоянно.

Максвелл ещё в 1873 г. высказал идею выбора нового эталона времени и длины: «наиболее универсальная единица времени могла бы быть реализована на основе периода колебаний специально выбранного света, чья длина волны является единицей длины». По существу, предлагался единый, оптический, эталон времени и длины. Было известно, что спектральные линии излучения атомов могут быть чрезвычайно узкими, а длины волн измерялись с высокой точностью с помощью интерференционных методик. Успехи в области спектроскопии (продвижение в радиодиапазон с использованием методик электроники и радиоспектроскопия) и квантовой теории показали, что существуют узкие спектральные линии атомов и молекул и в диапазоне радиоволн, и их частоты (до 100 ГГц) можно непосредственно измерять методами электроники. В результате обстоятельных целенаправленных исследований в качестве Международного эталона секунды был выбран интервал времени, определяемый частотой, которая соответствует переходу между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия. Согласно этому определению, секунда есть длительность 9 192 631 770 периодов колебаний между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния изотопа Cs^{133} .

С появлением и совершенствованием лазеров начались исследования по стабилизации их частоты. Появились оптические стандарты частоты высокой точности. Однако, для использования оптического стандарта частоты для прецизионного измерения времени приходится решать принципиальную проблему – измерение значения высокой оптической частоты путём сопоставления её с цезиевым эталоном секунды.

Развитие лазеров ультракоротких импульсов открыло совершенно неожиданный и весьма эффективный путь решения этой проблемы. Современные фемтосекундные лазеры непрерывного действия испускают строго периодическую последовательность импульсов, и спектр излучения представляет собой гребёнку эквидистантных оптических частот. Её можно использовать для точного определения оптических частот и построения оптических сверхточных часов.

В фундаментальной науке точные измерения времени необходимы для проверки основных положений общей теории относительности, определения значений фундаментальных физических констант (которые могут оказаться не постоянными!), изучения астрофизических объектов, исследований в сверхпрецизионной спектроскопии. В технике они нужны для систем связи и точного определения координат (например, система ГЛОНАСС).

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ: НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ ОБЪЯСНЕНИЯ

Георгий Сергеевич Голицын

Институт физики атмосферы РАН, Москва

Вкратце будет рассказана история изменений климата на планете и основные физические и химические факторы формирования климатической системы.

- Климат, как статистика погод и изменения этой статистики.
- Численное моделирование.
- Потепление как причина усиления неустойчивостей в климатической системе.

Доклад иллюстрируется большим количеством слайдов.

ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ И СТРУКТУРЫ В МЕЗОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Александр Маркович Фейгин, М.Ю. Куликов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Сравнительно недавно было показано, что в земной атмосфере на высотах от 80 до 90 км (в области *мезопаузы*) могут возникать нелинейные осцилляции концентраций малых газовых составляющих (Н, ОН, НО₂, О и О₃), играющих ключевую роль в фотохимических процессах, протекающих в мезосфере Земли. Эти осцилляции (с периодом 2, 3 и 4 суток) являются нелинейным откликом мезосферной фотохимии на периодическое внешнее воздействие – суточные вариации освещенности, а их характеристики определяются уровнем турбулентной вертикальной диффузии и скоростью вертикального ветра.

В лекции обсуждаются два новых явления, обусловленных нелинейными свойствами мезосферной фотохимии: (1) возникновение в области мезопаузы реакционно-диффузионных волн и (2) формирование, под действием квазидвухсуточных планетарных волн, периодических в зональном направлении распределений концентраций малых газовых составляющих.

Демонстрируется, что горизонтальная турбулентная диффузия может инициировать «*фазовые волны*»: движение фаз субгармонических осцилляций в зональном направлении со скоростью, чья величина и направление определяются коэффициентом горизонтальной турбулентной диффузии и широты места, и зависят от периода осцилляций. Так, в случае осцилляций с периодом 3 суток, могут возникать фазовые фронты и импульсы, распространяющиеся как в восточном, так и в западном направлении. Для двух- и четырехсуточных осцилляций обнаружены фронты и импульсы, перемещающиеся только в западном направлении. Обсуждается механизм возникновения реакционно-диффузионных волн в мезосферной фотохимической системе. Демонстрируется, что этот механизм принципиально отличен от хорошо известного в «неатмосферных» химических системах механизма.

Исследуется влияние квазидвухсуточной планетарной волны на нелинейные фотохимические осцилляции в области мезопаузы. Показывается, что периодический вертикальный перенос волной малых газовых составляющих может приводить к захвату фазы фотохимических осцилляций фазой осцилляций ветра и, как результат, к формированию регулярных в горизонтальном направлении распределений («*пространственно-когерентных структур*») малых газовых составляющих с периодом, близким к длине (планетарной) волны. Обсуждается возможность обратного влияния пространственно структурированной фотохимии на планетарную волну через фотохимический нагрев верхней мезосферы.

В заключение, предлагаются схемы экспериментов, нацеленных на регистрацию новых явлений.

КОД ДА ВИНЧИ, ЧИСЛА ФИБОНАЧЧИ И НЕЛИНЕЙНАЯ НАУКА

Дмитрий Иванович Трубецков

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Некоторое время тому назад мир был заинтригован романом Дэна Брауна «Код да Винчи». В лекции кратко изложена интрига романа с тем, чтобы отмежеваться от того, что автор понимает под кодом да Винчи. Высказана гипотеза, что введенный Дэном Брауном термин есть на самом деле универсальный код природы, названный Леонардо да Винчи золотым сечением («божественной пропорцией» по мнению древних греков и представителей Ренессанса), и пентакл, входящий в пентагон.

Дано геометрическое определение золотого сечения, приведены замечательные тождества для золотой пропорции; последняя представлена в виде цепной дроби и показана ее связь с числами Фибоначчи. Приводятся данные о золотом сечении в пирамиде Хеопса, в греческой культуре и искусстве Возрождения.

Подробно обсуждаются ряды Фибоначчи и вариации на их тему. Представляется, что сам Фибоначчи не подозревал о золотом сечении. Спустя триста лет после Фибоначчи Леонардо да Винчи иллюстрировал книгу Паоло Паччоли, которая называлась «О Божественной пропорции».

Приводятся результаты исследований Леонардо да Винчи течений, струй и турбулентности, в частности, 64 термина из гидродинамики, сопровождаемые рисунками о «движениях» и «форме» воды. Проводятся сравнения некоторых рисунков Леонардо да Винчи с фотографиями реальных течений струй.

Упоминается о воображаемой жидкости Максвелла, модель которой он использовал для интерпретации экспериментов Эрстеда и Фарадея.

В качестве связи рассказанного с современной нелинейной наукой рассмотрен переход квазипериодического движения на торе с двумя несоизмеримыми частотами в хаотическое. Указано, что имеет место универсальный скейлинг при числе вращения, равном золотому сечению.

Для иллюстрации второй составляющей кода да Винчи – пентакла, входящего в пентагон, рассказано о квазикристаллах, плитках Пенроуза («золотом паркете», поскольку и здесь не обошлось без золотого сечения) и фуллеренах.

5 МАРТА

НЕЛИНЕЙНЫЕ СТРУКТУРЫ И БИФУРКАЦИИ – I

Евгений Александрович Кузнецов

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Первая лекция посвящена устойчивости и бифуркациям уединенных нелинейных структур для гамильтоновских и градиентных систем. Для гамильтоновских систем рассмотрена задача о бифуркациях солитонов на примере внутренних волн, распространяющихся вдоль скачка плотности, и солитонов в нелинейной оптике. Во всех этих системах солитоны вблизи точки мягкой бифуркации ведут себя универсальным образом: при приближении к критической скорости форма солитона приобретает вид солитона огибающей при всех размерностях пространства, его амплитуда зависит корневым образом от его скорости, что типично для фазовых переходов второго рода.

При этом только солитоны в одномерных системах (например, световолокнах) при мягком переходе остаются устойчивыми, а двумерные и трехмерные солитоны вблизи порога оказываются неустойчивыми относительно модуляционных возмущений. При жестком режиме, когда матричный элемент четырехволнового взаимодействия имеет дополнительную малость, солитоны с конечной величиной скачка амплитуды при критической скорости солитона, совпадающей с минимальной фазовой скоростью линейных волн, неустойчивы, в то время как солитоны при мягком переходе остаются устойчивыми относительно одномерных возмущений. Нелинейная стадия неустойчивости приводит к коллапсу солитонов.

В качестве примера обобщенной градиентной системы рассмотрена нелинейная модель, описывающая динамику зеркальных мод вблизи порога зеркальной (диамагнитной) неустойчивости замагниченной плазмы санізотропным давлением. Показано, что выше порога стационарные структуры отсутствуют, а ниже порога неустойчивы.

При этом свободная энергия (или функционал Ляпунова) уменьшается со временем.

Выше порога это обеспечивает взрывное (конечное время) появление магнитных ям – областей с пониженным магнитным полем, что указывает на существование жесткой бифуркации амплитудой конечного скачка.

В рамках феноменологической модели учтены локальные вариации ларморовского радиуса. Этот механизм приводит к отставке коллапса и возникновению устойчивых магнитных структур в виде пиков с амплитудами, сравнимыми с вертикального поля, что в согласии с многочисленными спутниковыми данными по также с прямым численным моделированием уравнений Власова-Максвелла.

ОПТИЧЕСКИЕ АВТОСОЛИТОНЫ, ИХ КОМПЛЕКСЫ, СИММЕТРИЯ И ДВИЖЕНИЕ

Николай Николаевич Розанов

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург

Представлен обзор основных свойств оптических автосолитонов (диссипативных солитонов) в нелинейных системах с существенным энергообменом. Для одномерных, двумерных и трехмерных автосолитонов продемонстрированы дискретный набор таких их параметров как ширина и мощность или энергия, их слабое и сильное взаимодействие и связь типа движения с симметрией системы и структуры излучения.

Хотя структуры поля могут быть локализованы как в консервативных, так и диссипативных нелинейных средах или системах различной геометрической размерности, соответствующие солитоны обладают кардинально различающимися свойствами. Консервативные солитоны имеют сплошной спектр таких основных параметров как ширина и мощность или энергия, тогда как у автосолитонов, или диссипативных солитонов этот спектр дискретен. Такое различие вызвано присущим именно диссипативным системам балансом энергетических потоков и обуславливает повышенную устойчивость автосолитонов в различных физических, химических, биологических и других системах. В последнее время более интенсивно изучаются оптические автосолитоны, что связано с простотой и доступностью нелинейно-оптических явлений и с их высоким потенциалом для информационных приложений. В лекции дан обзор свойств различных типов оптических, главным образом лазерных, автосолитонов и связи их движения с симметрией системы и структурой излучения.

Для одиночных одномерных, двумерных и трехмерных автосолитонов огибающей в лазере с насыщающимся поглощением проанализированы потоки энергии излучения. Продемонстрированы их комплексы со слабой и сильной связью. В зависимости от симметрии распределений интенсивности и потоков энергии солитонные комплексы неподвижны, вращаются, двигаются прямолинейно или криволинейно, в том числе с неплоской траекторией центра (в трехмерной геометрии).

В однородной системе расположение автосолитона произвольно, ввиду чего уже слабые неоднородности вызывают его движение. Выход за рамки приближения медленно меняющейся огибающей для диссипативных брэгговских солитонов в активном нелинейном световоде с периодической модуляцией показателя преломления указывает на локализацию солитонов около максимумов показателя преломления. Для двумерных автосолитонов в лазере, длина резонатора которого плавно меняется в поперечном направлении, продемонстрированы эффекты ориентации и прямолинейного или криволинейного движения солитонных комплексов с различным типом симметрии. Оказывается, что неоднородность системы может играть и более принципиальную роль, обеспечивая устойчивую локализацию даже в таких условиях, когда в однородной системе локализация невозможна. Примером служит лазер без насыщающегося поглощения с разъюстированными зеркалами.

Шумы вызывают случайные блуждания автосолитонов, причем принципиально неустранимы их квантовые флуктуации. Для широкоапертурного интерферометра с керровской нелинейностью, возбуждаемого внешним излучением, проанализированы квантовые флуктуации координаты центра и скорости автосолитона и сделан вывод о его значительно большей устойчивости по сравнению с консервативными солитонами.

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ЭНТРОПИЯ, ФРАКТАЛЬНЫЕ РАЗМЕРНОСТИ И СЛОЖНОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Валентин Сендерович Афраймович

Университет Сан-Луис Потоси, Мексика

Одна из основных причин сложности поведения траекторий в фазовом пространстве – это их неустойчивость. Традиционной характеристикой неустойчивости траектории являются ее показатели Ляпунова. Но не всегда можно воспользоваться ими для получения нужной информации: например, если траектории расходятся не экспоненциально быстро, а медленнее, тогда соответствующие показатели Ляпунова равны нулю, как и наша информация о процессе. Есть и другие случаи, когда они не помогают. А главное, если мы интересуемся поведением траекторий на конечном (пусть и большом) интервале времени – а таких задач все больше и больше с каждым годом – то они бесполезны. Характеристика системы, которая работает всегда, это функция сложности. Грубо говоря, значение этой функции в момент времени t равно максимально возможному числу начальных точек, таких, что проходящие через них траектории разойдутся на заранее фиксированное расстояние к моменту времени t . Асимптотически по отношению к $t \gg 1$, эта функция ведет себя как $\exp(ht)$, и число h называется топологической энтропией. Но функция сложности зависит не только от времени, но также и от геометрической природы аттрактора или инвариантного множества, которому принадлежат начальные точки, и параметром в функциональном выражении этой зависимости служит фрактальная размерность. Мы предполагаем обсудить эти и некоторые другие характеристики динамики в нашей лекции и показать на простых примерах, что с ними можно работать при изучении конкретных систем.

ХАОС В КОНСЕРВАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Александр Юрьевич Лоскутов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Анализ динамических систем со сложным, в том числе хаотическим поведением – один из важнейших разделов современной теоретической и математической физики. Это объясняется тем, что хаотическое поведение присуще очень широкому кругу явлений. Кроме того, теория динамических систем, в рамках которой и разрабатываются концепции динамической стохастичности, объединяет самые разные приложения, возникающие в естественных науках: от задач химической кинетики и медицинской физики до проблемы обработки и хранения информации. При этом одним из самых сложных для понимания вопросов остается **вопрос о природе хаотичности**.

Хорошо известно, что представление о сложном и непредсказуемом поведении ассоциировалось, в основном, с допущением, что в таких системах необходимо возбуждение, по крайней мере, чрезвычайно большого числа степеней свободы. Эта концепция, по-видимому, сформировалась под действием понятий, сложившихся в статистической механике. Однако, как оказалось, статистические законы, а вместе с ними и статистическое описание, не ограничены только очень сложными системами с большим числом степеней свободы. Случайное поведение может быть присуще и полностью детерминированным системам с небольшим числом степеней свободы. Дело здесь не в сложности и внешних шумах, а в появлении при некоторых значениях параметров экспоненциальной неустойчивости движения. Динамика систем, вызванная та-

кого рода неустойчивостью, и называется динамической стохастичностью или детерминированным (динамическим) хаосом.

Где лежит граница между регулярной, но сложно организованной структурой и хаосом? Почему природа в основе своей самоподобна, и в чем причины хаоса? Ответы на эти вопросы составляют основное содержание лекции. Изложение опирается на геометрический подход, обоснованный еще А. Пуанкаре.

Содержание

1. Нелинейный резонанс.
2. Элементы теории Колмогорова-Арнольда-Мозера (КАМ).
3. Результат Пуанкаре-Биркгофа и самоподобие.
4. Природа хаоса.
5. Непредсказуемость и необратимость.
6. Бильярды.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНО- И БИОСТРУКТУР

Константин Вольдемарович Шайтан

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Рассматриваются основы метода молекулярной динамики для полноатомного моделирования макромолекулярных и надмолекулярных наноструктур.

Обсуждается возникновение аттракторных режимов при использовании некоторых алгоритмов поддержания постоянной температуры системы.

Демонстрируются результаты моделирования:

- белков,
- пептидов,
- элементов вторичной структуры белков как потенциальных конструкционных элементов наноустройств,
- биомембран и процессов диффузии через мембраны,
- функционирования ионных каналов,
- самосборки простейших полимерных структур и комплексов полипептидов с углеродной нанотрубкой,
- функционирования «наношприца» на основе углеродной нанотрубки для адресной доставки лекарств.

Обсуждаются перспективы развития молекулярного моделирования на различных пространственных и временных масштабах.

Литература

1. Шайтан К.В., Беляков А.А., Леонтьев К.М., Сарайкин С.С., Михайлюк М.Г., Егорова К.Б., Орлов М.В., "Геометрия энергетической поверхности и конформационная динамика: от углеводов – к белкам и пептидам", Химическая физика, 2003, **22**(2) 57-68.
2. Shaitan K.V., "Protein dynamics and new approaches to the molecular mechanisms of protein functioning", In: Stochastic Dynamics of Reacting Biomolecules (ed. W. Ebeling et al). p. 283-308. World Scientific. 2003.
3. Шайтан К.В., Сарайкин С.С., "Влияние амплитуды флуктуаций на коэффициент трения броуновского осциллятора в водной среде", Биофизика, 2000, **45**, 407-413.
4. Шайтан К.В., Терёшкина К.Б., Молекулярная динамика белков и пептидов: Учебно-методическое пособие. М.: Ойкос. 2004, 103с.

5. Шайтан К.В., Михайлюк М.Г., Леонтьев К.М., Сарайкин С.С., Беляков А.А., "Молекулярная динамика изгибных флуктуаций элементов вторичной структуры белков", Биофизика, 2002, **47**, 411-419.
6. Golo V.L., Salnikov V.N., Shaitan K.V., "Harmonic oscillators in the Nose-Hoover environment", Phys.Rev.E, 2004, **70**(4), 046130.
7. Tourleigh Ye.V., Shaitan K.V., "Molecular dynamics study of molecular mobility in catenanes", Defect and Diffusion Forum, 2005, **237-240**, 1174–1181.
8. Шайтан К.В., Турлей Е.В., Голик Д.Н., Терешкина К.Б., Левцова О.В., Федик И.В., Шайтан А.К., Лу А., Кирпичников М.П. "Динамический молекулярный дизайн био- и наноструктур", Российский химический журнал, 2006, **50**(2), 53–65.
9. Shaitan K.V., Tourleigh Y.V., Golik D.N., Kirpichnikov M.P., "Computer-aided molecular design of nanocontainers for inclusion and targeted delivery of bioactive compounds", Journal of Drug Delivery Science and Technology, 2006, **16**(4), 253–258.

НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ГЕТЕРОГЕННЫМИ ЖИДКОФАЗНЫМИ НАНОКОМПОЗИТАМИ

Юрий Николаевич Кульчин,
В.П. Дзюба, А.В. Щербаков и С.С. Вознесенский

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток

Перспективы развития оптоэлектроники стимулируют поиск и исследование новых наноматериалов, способных привнести новое качество в системы лазерной физики, оптической связи и оптической обработки информации. Гетерогенные нанофазные композиты (ГНК) на основе наночастиц из полупроводниковых и диэлектрических материалов представляют значительный интерес для создания устройств управления излучением в оптических информационных системах [1]. В отличие от гомогенных сред, в ГНК нелинейно-оптический отклик возникает как за счет индуцированных светом изменений показателей преломления и поглощения, так и за счет индуцированного светом светорассеяния частиц [4]. Важным достоинством ГНК является возможность варьирования их оптических свойств за счет подбора параметров составляющих их компонентов, концентрации, размеров и формы наночастиц. Особого внимания заслуживают гетерогенные жидкофазные нанокompозиты (ГЖНК), представляющие собой жидкие среды на основе оптически прозрачного материала матрицы с равномерно распределенными по объему наночастицами из широкозонных полупроводников или диэлектриков, для которых характерно наличие низкопороговой нелинейности [2,3].

В настоящей работе представлены результаты исследования процессов взаимодействия излучения с гетерогенными жидкофазными нанокompозитами на основе широкозонных диэлектрических наночастиц из Al_2O_3 . Показано, что в данных средах наблюдается низкопороговая нелинейность показателя преломления, коэффициентов рассеяния и поглощения ГЖНК, проявляющаяся в зависимости пропускания среды от длины волны используемого излучения, от характеристик материала жидкофазной матрицы и концентрации наночастиц. Показано, что оптическая нелинейность, связанная с ограничением мощности светового излучения и «простветлением» среды, определяется зависящими от длины волны и мощности излучения явлениями самофокусировки или дефокусировки.

Рассмотрены процессы коллинеарного нелинейно-оптического взаимодействия световых лучей с разными длинами волн в гетерогенном жидкофазном нанокompозите. Показано, что, при использовании в качестве матрицы ГЖНК органической жидкости с зависящим от температуры показателем преломления, величина которого ниже, чем у наночастиц, наблюдается низкопороговая оптическая нелинейность, позволяющая

управлять характеристиками пропускания ГЖНК. Продемонстрирована возможность управления световыми потоками за счет коллинеарного нелинейно-оптического взаимодействия световых лучей с разными длинами волн в ГЖНК.

1. Пул Ч., Оуэнс Ф., Нанотехнологии, М.: Трансфера, 2004. 328 с.
2. Михеева О.П., Сидоров А.И., "Оптическая нелинейность наночастиц широкозонных полупроводников и изоляторов в видимой и ближней ИК области спектра", ЖТФ, 2004, 74(6), 77-82.
3. Кульчин Ю.Н., Щербаков А.В., Дзюба В.П., Микаэлян Г.Т., "Нелинейно-оптические свойства гетерогенных жидких нанофазных композитов на основе широкозонных наночастиц Al_2O_3 ", Квантовая электроника, 2008, 38(1) (в печати).

6 МАРТА

НЕЛИНЕЙНЫЕ СТРУКТУРЫ – II: СПЕКТРЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ, ПОРОЖДАЕМЫЕ СИНГУЛЯРНОСТЯМИ

Евгений Александрович Кузнецов

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Рассмотрена задача о спектрах турбулентности, порождаемых сингулярностями, сосредоточенными на линиях и плоскостях, применительно к волнам на воде, акустике и двумерной гидродинамике.

Для волн на воде показано, что спектр по частотам отклонений поверхности жидкости за счет возникновения барашков – линейных сингулярностей – имеет тот же скейлинг, что и слаботурбулентный спектр Захарова-Филоненко. При этом спектр по волновым векторам может иметь сильную анизотропию с убыванием в максимуме как у спектра Филлипса. В изотропной ситуации, однако, поведение спектра сильно отличается от спектра Филлипса.

Для акустической турбулентности, порождаемой ударными волнами, спектр для изотропных распределений для всех размерностей пространства имеет вид спектра Кадомцева-Петвиашивили: $E_\omega \sim \omega^{-2}$. В случае сильной анизотропии, спектр турбулентности в k -пространстве имеет вид струи со степенным затуханием в поперечном направлении $\sim k_\perp^{-5}$ при той же самой зависимости вдоль струи, что и для изотропных спектров.

Для двумерной гидродинамической турбулентности предложен механизм возникновения резких градиентов завихренности. Найден аналог представления вихревых линий – преобразование к криволинейной системе координат, двигающейся вместе с линиями ротора завихренности. Сжимаемость этого отображения может быть рассмотрена как основная причина формирования при больших числах Рейнольдса скачков завихренности. Для двумерной турбулентности в случае сильной анизотропии скачки завихренности могут породить спектр, спадающий при больших k как k^{-3} , совпадая с главной зависимостью для спектра Крейчнана с постоянным потоком энтропии. Для турбулентности со слабой анизотропией зависимость от k спектра за счет разрывов совпадает с зависимостью для спектра Саффмана, $\sim k^{-4}$. Проведено сравнение аналитических предсказаний с прямым численным интегрированием уравнений Навье-Стокса (с гипервязкостью) при вырождении турбулентности. В экспериментах наблюдался рост (в сотни раз) значений ротора завихренности по закону, близкому к экспоненциальному. Выяснено, что наблюдаемая резкая анизотропия (в виде джетов) спектров и их k^{-3} -зависимость обязаны скачкам завихренности, распределенным случайно по пространству вдоль отрезков линий.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН В СИЛЬНО НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ: ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Ефим Наумович Пелиновский

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Под распространяющейся волной в линейной теории обычно понимают функцию $f(x - ct)$ с произвольной зависимостью от других пространственных координат (здесь t – время, и x -координата). Их нахождение в случае одной пространственной координаты сводится к решению, в общем случае, системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Более сложно найти бегущие волны в волноводах со сложной поперечной структурой, и, например, нахождение бегущих волн в жидкости со свободной поверхностью стало предметом специального раздела нелинейной математики. Если параметры среды меняются медленно во времени или плавно в пространстве, то волна локально описывается теми же выражениями, что и в однородной среде, а изменение амплитуды и фазы волны находится с помощью лучевых методов или, более строго, с помощью асимптотической процедуры. Уже давно было отмечено, что в некоторых случаях асимптотические решения являются точными и не требуют плавности изменения параметров среды. При этом возникают вопросы, являются ли такие решения бегущими волнами, если среда не является плавно неоднородной. В настоящей лекции эта проблема обсуждается применительно к волнам на воде. Показывается, что существуют два профиля переменной глубины, когда асимптотические решения для линейных волн становятся точными решениями. Такие решения всегда имеют сингулярные точки. Наряду с монохроматическими волнами, получены решения в виде бегущих импульсов и исследована форма бегущих волн. В частности, для одного класса донной геометрии поверхностная волна должна быть знакопеременной, при этом волна скорости частиц меняет свою форму по мере распространения. Получены соответствующие решения начальной задачи, демонстрирующие особенности формирования бегущих волн, движущихся в противоположных направлениях, при этом в общем случае формируется зона переменного течения между двумя разбегающими волнами. Эти решения применяются для изучения трансформации и отражения волны от излома глубины. Несмотря на «точность» отражения, форма отраженной и преломленной волны меняется кардинально, в частности, для любой формы падающей волны, трансформированная волна является знакопеременной. Полученные решения используются для анализа слабо-нелинейных задач, в частности, здесь эволюционные уравнения (типа Бюргерса или Кортевега-де Вриза) всегда являются интегро-дифференциальными.

ХАОС И СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ

Александр Сергеевич Дмитриев

Институт радиотехники и электроники РАН, Москва

Последние десятилетия слово «хаос» в научной литературе тесно ассоциируется с понятием динамического (детерминированного) хаоса как широко распространенного явления в нелинейных динамических системах. С другой стороны, оно часто применяется для характеристики степени неупорядоченности различных систем, включая социальные и экономические, т.е. используется в своем первоначальном смысле. Может быть, это происходит значительно чаще, чем несколько десятилетий назад, не только по причине серьезных изменений в состоянии социальных и экономических систем, но и в силу серьезных достижений в понимании природы нерегулярных процессов, полученных в результате исследования нелинейных систем.

Динамический хаос может возникать уже в маломерных динамических системах (в частности, для систем с непрерывным временем с полутора и большим числом степеней свободы). Это обстоятельство в немалой степени объясняет его популярность среди исследователей. Действительно, здесь имеет место редкий случай фундаментального явления, описываемого простыми и понятными математическими моделями, и в силу этого доступного для изучения и исследования широкому кругу лиц. Но что же происходит, когда от маломерных моделей пытаются перейти к системам с большим числом степеней свободы? Очарование и стройность теории быстро сменяются бесчисленным числом моделей, через которые исследователи продираются, как через колючий кустарник, без особых теоретических оснований. Не то чтобы здесь не работали те же закономерности возникновения сложного поведения, которые имеют место в маломерных системах. Нет, они, конечно, имеют место. Но они не являются единственной доминантой поведения. Многие аспекты динамики (или, в более широком смысле, поведения) определяются многомерностью системы, взаимодействием ее подсистем и т.д.

Характерным примером являются нейронные сети. Даже когда они описываются системами дифференциальных уравнений, как в случае нейронных сетей Хопфилда, их наиболее интересные свойства не сводятся к маломерной динамике, а существенным и понятным образом определяются именно большим числом элементов и связями между ними. В рассматриваемом примере слово «сеть» отражает структуру самого рассматриваемого объекта.

В последнее время термин «сеть» стал популярным не только как синоним цепочек и решеток динамических элементов, но и как достаточно общая модель взаимодействующих подсистем различной природы.

В докладе обсуждаются причины интереса к сетям. Особое внимание уделяется информационным аспектам сетевых структур.

Рассматривается взаимосвязь хаоса, сетевых структур и коммуникаций на примере беспроводных сенсорных сетей, в которых в качестве носителя информации используются сверхширокополосные СВЧ хаотические колебания.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЖАТИЕ ИНФОРМАЦИИ

Леонид Иванович Левкович-Маслюк

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва

Лекция посвящена нескольким подходам к сжатию информации, объединенным общей идеей: попытаться представить данную информацию с помощью траектории подходящим образом подобранной динамической системы, дискретной или непрерывной. Цель – рассказать о математическом аппарате, примененном в этих проектах, о реальных практических достижениях и о мифологии, связанной с этой задачей.

Наиболее известным проектом такого рода остается «фрактальное сжатие» изображений, придуманное в конце 1980-х. В экспериментах удавалось вручную подобрать параметры динамических систем так, чтобы их аттракторы были близки к изображенным на фотографиях «естественным» объектам – деревьям, облакам, различным текстурам, рельефам и т.п. В работах создателей метода (Майкла Барнсли [Michael Barnsley] и соавторов) использовались стохастические динамические системы (итерационные функциональные системы, ИФС) на плоскости, траектории которых довольно быстро сходились к аттракторам, почти неотличимым от исходных объектов. Вместо изображения объекта запоминались лишь параметры системы. Авторы сообщали о колоссальных коэффициентах сжатия (в сотни и даже тысячи раз), полученных за счет того, что ИФС описывались очень небольшим числом параметров. Однако формализовать и автоматизировать удалось лишь сильно упрощенный вариант этого метода, который по степени сжатия ничем отличается от обычных технологий.

В работах Линденмайера и Прусинкиевича в 1970-90-е годы был построен класс динамических систем («L-системы»), специально приспособленный для компактного кодирования трехмерных форм растений. Эти системы допускают эквивалентное описание на языке формальных грамматик. Коды форм стеблей или листьев тех или иных видов деревьев, кустарников, цветов записываются с помощью нескольких коротких строк символов. Генерация самих объектов по этим строкам выполняется с помощью итерационного процесса, эквивалентного ИФС из предыдущего пункта. Это один из немногих примеров крайне эффективного сжатия информации с помощью динамических систем. Причина – очень специальный выбор класса данных; к тому же, кодируется не конкретный уникальный цветок, а типичный цветок данного вида/семейства.

Менее удачными были попытки применить эти идеи к музыкальным и речевым звукам. Например, давно получено «фрактальное» представление слогов французской речи, однако неясна его эффективность.

Определенные успехи были достигнуты в аппроксимации траекториями динамических систем временных рядов различной природы (в том числе, финансовых), а также некоторых последовательностей, определяемых структурой генома. Эти результаты, впрочем, относятся не к сжатию, а к анализу данных.

В совсем недавних теоретических работах выдвигаются идеи о возможности моделирования памяти и ментальности человека при помощи р-адических динамических систем.

Наконец, мы упомянем и об откровенно фантастических проектах – среди них выделяется анонс, сделанный американской компанией ZeoSync в 2002 году, где говорилось о сжатии любых потоков данных в 100 и более раз, причем без потерь - со ссылкой на динамические системы (любопытно, что с ZeoSync в течение короткого времени работал Стефан Смейл, что было использовано компанией для рекламы).

НЕОЖИДАННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВСЕЛЕННОЙ

Владимир Владиленович Кочаровский, В.В. Кочаровский

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Во введении кратко излагаются твёрдо установленные факты космологии и астрофизики и подчеркивается роль нелинейной физики в их интерпретации. На этой основе рассматриваются неожиданные проблемы физики Вселенной, которые возникли благодаря новым наблюдательным данным и теоретическим разработкам, появившимся в космологии и астрофизике в конце XX – начале XXI веков:

1. необходимость и недостаточность современных моделей инфляции Вселенной;
2. ускоренное космологическое расширение и проблема тёмной энергии;
3. структурирование Вселенной и проблема тёмной материи;
4. самые большие объекты во Вселенной и точность космологического принципа;
5. проблема образования сверхмассивных чёрных дыр и их роль в эволюции галактик;
6. формирование и взаимосвязь аккреционных дисков и релятивистских джетов в квазарах и микроквазарах;
7. самые мощные процессы во Вселенной и физика источников гамма-всплесков;
8. происхождение космических лучей сверхвысоких энергий и выход за пределы стандартной модели элементарных частиц.

Для всех данных проблем приведены развёрнутые формулировки, даны качественные разъяснения и указаны возможные пути решения в рамках консервативных физических представлений.

7 МАРТА

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР

Наталья Львовна Шварц

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск

Имитационное моделирование является инструментом для изучения механизмов формирования нанообъектов на атомарном уровне. Метод Монте-Карло позволяет проводить модельные исследования систем, размеры которых сравнимы с реальными (до нескольких сотен нанометров). Время моделируемого процесса также сопоставимо с реальным (секунды и минуты). Благодаря большому количеству частиц и большому числу элементарных событий стохастический подход обеспечивает достаточно достоверное описание моделируемой системы. Кроме того, в стохастической системе, как и в реальности, имеют место флуктуации различных характеристик атомных образований (например, плотности островков, шероховатости ступени и т.п.). Эти флуктуации часто лежат в основе ряда макроскопических процессов.

Даже достаточно простые модели на основе кристалла Косселя позволили получить информацию о деталях миграции атомов в процессах молекулярно-лучевой эпитаксии и объяснить ряд эффектов наблюдаемых экспериментально. Переход к нано масштабу при создании электронных устройств потребовал знаний о деталях миграции атомов в

процессе образования слоя, когда становятся важны кристаллическая структура подложки, а сложная форма нанообъектов стимулировала переход к трехмерным моделям.

В докладе будут представлены результаты моделирования с помощью программного комплекса SilSim3D, созданного для имитации нескольких ключевых технологических процессов нанoeлектроники: молекулярно-лучевая эпитаксия (MBE), химическое осаждение из газовой фазы (CVD), послойное атомное осаждение (ALD). В математической модели учитываются случайные блуждания частиц по решеточным местам в трехмерном пространстве, химические превращения, адсорбция из потока, десорбция и некоторые структурные перестройки ковалентных связей. С помощью SilSim3D было исследовано заращивание пор на кремниевых подложках с ориентацией (001) и (111), спекание пористых систем, начальные стадии роста окисла при окислении кремния кислородом, рост кремниевых нановискеров под каплями золота. Учет димеризации ковалентных связей в модели позволил объяснить ранее не ясные причины формирования устойчивых ступеней трехбислойной высоты на вицинальных поверхностях Si(111) и 3-х бислойных островков Ge на поверхности Si(111).

ФОТОННЫЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ: ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Наталья Михайловна Личиницер

Университет Буффало, США

Метаматериалы – это композитные материалы со свойствами, не наблюдающимися в природе и не присущими ни одному из их составных элементов ("мета" в переводе с греческого означает "за пределами"). Один из наиболее ярких примеров – так называемые левосторонние среды или среды с отрицательным показателем преломления. Существование сред с отрицательным показателем преломления было предсказано и подробно исследовано теоретически В.Г. Веселаго ещё в 1967 году. Однако, экспериментально такие среды были продемонстрированы только относительно недавно, сначала в микроволновом и терагерцовом, а затем и в оптическом диапазоне электромагнитного спектра.

Одно из наиболее важных и необычных свойств сред с отрицательным показателем преломления, антинаправленность волнового вектора и вектора Пойнтинга, приводит к ряду фундаментально новых линейных и нелинейных режимов взаимодействия электромагнитных волн с веществом.

Помимо левосторонних сред, технология метаматериалов позволяет создать материалы практически с любым показателем преломления и открывает принципиально новые возможности для создания линз (так называемых суперлинз), антенн, волноводов и оптических фильтров, а также для разработки технологий управления световыми потоками, фотолитографии, оптической микроскопии и нелинейно-оптических приложений.

В лекции будут рассмотрены последние достижения и существующие в настоящее время сложности в области создания оптических метаматериалов с отрицательным показателем преломления, необычные линейные и нелинейные свойства таких сред, а также приложения метаматериалов.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА НАНОСТРУКТУР: ИДЕИ, МЕТОДЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Сергей Афанасьевич Максименко, Г.Я. Слепян

Белорусский государственный университет, Минск

Последние два десятилетия развития науки и технологии ознаменовались быстрым прогрессом в синтезе различных типов искусственных сред и материалов, обладающих наноразмерной структурированностью и свойствами, существенно отличающимися от свойств природных сред. По сути дела, происходит фундаментальный перелом в физике и химии конденсированного состояния, значительно расширяющий наши представления о природе твердых тел и наши возможности управления их свойствами, сделан решительный шаг к созданию материалов, приборов и устройств с новыми уникальными свойствами. Словосочетания с приставкой нано - наноэлектроника и нанооптика, наномеханика, наносенсорика, наноматериалы – определяют целые направления в современной физике, химии, материаловедении, приборостроении. Учитывая прогресс технологий синтеза все новых типов наноструктурированных объектов и материалов и потребности их применения в информационных и сенсорных системах, можно с уверенностью утверждать, что **моделирование наноструктур и наноразмерных элементов цепей и систем является одним из магистральных направлений развития современной электродинамики**. В связи с этим возникают новые постановки задач, а хорошо известные приемы и методы наполняются новым содержанием.

В лекции представляется новая исследовательская дисциплина – наноэлектродинамика, охватывающая широкий класс явлений взаимодействия электромагнитных волн с различными наноструктурами. Рассматривается базовый подход к решению задач наноэлектромагнетизма на основе слияния методов современной физики твердого тела, основанных на концепции квазичастиц, и методов электродинамики неоднородных сред. Делается обзор ряда электромагнитных эффектов в наноструктурах - возбуждение и распространение поверхностных волн в углеродных нанотрубках, влияние краевых эффектов, тепловое электромагнитное излучение углеродных нанотрубок, уширение линии спонтанного излучения атома вблизи нанотрубки, особенности оптической нелинейности нанотрубок и линейного отклика композитов на основе луковичных форм углерода. Обсуждается роль локальных полей в электромагнитном отклике квантовых точек в режимах слабой и сильной связи с электромагнитным полем. Разработанные теоретические модели позволили предложить принципиальные схемы использования углеродных нанотрубок как мономолекулярных оптоэлектронных устройств, таких как нановолновод поверхностных волн и наноантенна для инфракрасного и терагерцового диапазонов, устройство возбуждения нанонтенны в нанотрубках на основе эффекта Парселла для атомов и квантовых точек вблизи (внутри) нанотрубок. Сформулирована задача и определены условия создания мономолекулярной лампы бегущей волны. Обсуждается возможность реализации логических элементов квантовой информатики на базе квантовых точек в условиях сильной связи.

СОДЕРЖАНИЕ

1 марта

<i>Зелёный Л.М.</i> Плазменные явления в магнитосфере Земли: пересоединение, регулярная и хаотическая динамика частиц, филаментация и ускорение	1
<i>Сергеев А.М.</i> Источники экстремальных световых полей и их применения	3
<i>Нарожный Н.Б.</i> Квантовая электродинамика в сверхсильных лазерных полях	3
<i>Руденко О.В.</i> Биомедицинские приложения нелинейной акустики.....	4
<i>Гурия Г.Т.</i> Кинетические нестабильности и взрывы в регуляции свертывания крови	4

2 марта

<i>Голицын Г.С.</i> Ураганы: полярные и тропические, количественные критерии их возникновения	5
<i>Трошцкая Ю.И.</i> Взаимодействие ветра и волн при ураганах.....	5
<i>Нарожный Н.Б.</i> Квантовая электродинамика в сверхсильных лазерных полях (см. стр. 3).....	6
<i>Пухов А.М.</i> Ускорение электронов плазменными волнами	6
<i>Анохин К.В.</i> Нелинейные процессы в нервной системе: проблемы, теории и подходы	7
<i>Чернавский Д.С.</i> Информационные процессы в биологии	8

3 марта

<i>Романовский Ю.М.</i> Математические модели протонной АТФ-синтазы – энергопреобразующей молекулярной машины живой клетки	9
<i>Полежаев А.А.</i> Механизмы самоорганизации живых систем	10
<i>Рябикин М.Ю.</i> Аттосекундные световые импульсы	11
<i>Пухов А.М.</i> Генерация высоких гармоник и аттосекундных импульсов в релятивистском режиме.....	11
<i>Соколов Д.Д.</i> Динамо в звездах и планетах	12
<i>Мареев Е.А.</i> Электрическое турбулентное динамо в грозовых облаках.....	12
<i>Трубецков Д.И.</i> Леонардо да Винчи как нелинейное явление.....	13

4 марта

<i>Афраймович В.С.</i> Некоторые задачи современной теории динамических систем	14
<i>Некоркин В.И.</i> Нелинейно-динамический подход в задачах нейрофизиологии	15

<i>Гарнов С.В.</i>	
Экспериментальные методы в физике фемтосекундной лазерной плазмы	16
<i>Крюков П.Г.</i>	
Фемтосекундные лазеры для сверхточных измерений времени	16
<i>Голицын Г.С.</i>	
Глобальное потепление: наблюдения и их объяснения.....	17
<i>Фейгин А.М., Куликов М.Ю</i>	
Фотохимические волны и структуры в мезосфере Земли	18
<i>Трубецков Д.И.</i>	
Код да Винчи, числа Фибоначчи и нелинейная наука.....	19

5 марта

<i>Кузнецов Е.А.</i>	
Нелинейные структуры и бифуркации (1-я лекция).....	20
<i>Розанов Н.Н.</i>	
Оптические автосолитоны, их комплексы, симметрия и движение.....	21
<i>Афраймович В.С.</i>	
Топологическая энтропия, фрактальные размерности и сложность поведения траекторий динамических систем.....	22
<i>Лоскутов А.Ю.</i>	
Хаос в консервативных системах	22
<i>Шайтан К.В.</i>	
Молекулярная динамика и моделирование нано- и биоструктур	23
<i>Кульчин Ю</i>	

6 марта

7 марта

