

**II. РЕЗУЛЬТАТЫ,
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫЕ
В ОТЧЕТ РАН ПО РАЗДЕЛУ
«ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
В ОБЛАСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ,
ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК»**

3. Отделение нелинейной динамики и оптики

1. **3.1.** Показано, что при распространении мощного фемтосекундного лазерного импульса в диэлектрическом газонаполненном капилляре может быть реализован новый механизм ионизационной самокомпрессии. Он обусловлен формированием нелинейного плазменного волновода, аномальная дисперсия которого позволяет сгруппировать коротковолновые спектральные компоненты, появляющиеся в процессе ионизации газа. Экспериментально продемонстрирована двух-трех кратная временная компрессия исходного импульса длительностью ~ 70 фс. В оптимальном режиме предлагаемая схема компрессии позволяет получать сверхкороткие импульсы с длительностью в несколько периодов поля и с энергией в десятки миллиджоулей, что важно для целого ряда научных приложений, в том числе создания источников мощных аттосекундных импульсов.

Авторы: Ким А.В., Кулагин Д.И., Скобелев С.А., Сергеев А.М., Степанов А.Н. (ИПФ РАН).

Аннотация. Предложена новая схема самокомпрессии интенсивных фемтосекундных импульсов, имеющая место при распространении лазерного излучения в условиях полого сверхразмерного диэлектрического капилляра. Ключевой идеей является использование газа при сравнительно более высоких давлениях, когда с учетом образующейся плазмы нарушаются условия одномодового распространения и возможно возбуждение плазменного волновода, в котором могут распространяться собственные утекающие моды. Существование такого волновода связано с резкой зависимостью вероятности ионизации газа от интенсивности поля в лазерном импульсе, что приводит к образованию резкого (на масштабе длины волны) скачка показателя преломления. По сути, такой плазменный волновод полностью аналогичен капилляру, но, в отличие от последнего, обладает существенно меньшей величиной относительного показателя преломления и, как следствие, худшей добротностью. Однако ввиду наличия внешней границы (стенок самого диэлектрического капилляра) излучение в нем может распространяться на расстояния, значительно превышающие эффективную длину каналирования свободного плазменного волновода. Таким образом, создание более узкого плазменного канала, способного обеспечить аномальный характер групповой дисперсии в сочетании с частотной модуляцией, приобретаемой импульсом в результате ионизационной перестройки частоты, позволяет осуществить самокомпрессию лазерного импульса в условиях полого капилляра. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования свидетельствуют о достаточно высокой эффективности предлагаемого метода – с точки зрения как энергетической эффективности, так и в определенной степени простоты его реализации, где наиболее чувствительным местом является определение и правильный выбор длины диэлектрического капилляра. Экспериментально с использованием Ti:Sa лазерного комплекса продемонстрирована двух-трех кратная временная компрессия исходного импульса длительностью ~ 70 фс. Выполнено численное моделирование нелинейной динамики оптических импульсов в указанных условиях, с одной стороны – хорошо согласующееся с проведенными экспериментами, а с другой – позволяющее выработать соответствующие рекомендации по выбору оптимальных параметров для эффективной самокомпрессии импульсов. В оптимальном режиме предлагаемая схема компрессии позволяет получать сверхкороткие импульсы с длительностью в несколько периодов поля и с энергией в десятки миллиджоулей. Одним из ее важных преимуществ по сравнению с самокомпрессией на филаменте является, по сути, отсутствие ограничения на мощность импульса и, соответственно, возможность его масштабирования на большие энергии.

Публикации

1. Kim A.V., Kulagin D.I., Skobelev S.A., and Stepanov A.N. Ionization-induced spectrum transformation and ultrashort pulse self-compression // Technical Digest of Int. Conf. on Coherent and Nonlinear Optics / Int. Conf. on Lasers, Application, and Technologies (ICONO/LAT 2007), Minsk, Belarus, May 28–June 1, 2007. Paper I03/IV-2.

2. Ким А.В., Кулагин Д.И., Скобелев С.А., Сергеев А.М., Степанов А.Н., Андреев Н.Е. Ионизационная самокомпрессия интенсивных фемтосекундных импульсов при распространении через газонаполненные диэлектрические капилляры // Письма в ЖЭТФ (направлено).

3.2. Предложена методика измерения, построен экспериментальный образец и проведены успешные натурные испытания ультразвукового расходомера, предназначенного для измерения расхода газа в трубопроводах с помощью накладных датчиков, располагаемых на поверхности трубы. Это позволяет производить контроль расхода газа на трубах практически любого диаметра без предварительной подготовки трубы и нарушения её целостности. В процессе разработки решена проблема выделения слабого полезного сигнала, прошедшего через турбулентный газовый поток, на фоне сильных стационарных помех, распространяющихся по стенке трубы.

Авторы: Мансфельд А.Д., Волков Г.П., Беляев Р.В., Купаев А.В., Шанин В.Н. (ИПФ РАН), Карюк В.М., Агуреев В.А., Трусило С.В. (ООО «Бинар», г. Саров).

Аннотация. В настоящее время, благодаря удобству в эксплуатации и высокой точности измерения, ультразвуковые расходомеры, основанные на измерении времени прохода сигнала вниз и вверх по течению, получили широкое распространение в промышленности. В этих устройствах ультразвуковые датчики монтируются таким образом, что излучающая часть находится непосредственно в потоке газа, а корпус датчика проходит через отверстие в стенке трубы. Датчики, как правило, размещаются в специальных измерительных модулях, которые вставляются в участок трубопровода. Вместе с тем интерес представляет создание таких устройств, которые бы позволили производить измерения расхода без проникновения в поток, с помощью датчиков, устанавливаемых на стенке трубы. Это дает возможность оперативного контроля расхода в любом специально не подготовленном участке трубопровода. Такие устройства существуют и применяются для измерения расхода жидкости. С газом все гораздо сложнее из-за большого различия (пять порядков) акустических импедансов металла и газа, в результате чего сигнал, прошедший через газ, чрезвычайно мал. В тоже время сигналы, возбуждаемые в стенках трубы, существенно превышают сигнал, прошедший через поток. Эти «стеночные» сигналы получаются благодаря генерации волн Лэмба различного типа, а также поперечных и продольных волн в стенке трубы. В результате полезный сигнал, т.е. сигнал, прошедший через поток, оказывается во много раз меньшим, чем помеха. Измерения показали, что отношение сигнал/помеха составляет 10^{-3} , т.е., чтобы обеспечить высокую точность, это соотношение должно быть порядка 10^3 , и, соответственно, стационарные помехи необходимо подавить на 60 дБ.

В настоящей методике применен способ выделения сигнала на фоне «стеночных» сигналов, основанный на том, что реальный поток газа в трубе практически всегда имеет некоторый уровень турбулентных пульсаций. Для работы предлагаемого алгоритма достаточно, чтобы скорость менялась во времени на десятые доли процента. Алгоритм выделения сигнала основан на импульсном зондировании периодической последовательностью акустических импульсов с последующим запоминанием принятых сигналов и их череспериодном вычитании. В результате такой обработки стационарные сигналы, распространяющиеся по стенке трубы, эффективно подавляются, и выделяется флуктуирующий сигнал, прошедший через поток. На основе предложенной методики

создан ультразвуковой расходомер и проведены его успешные натурные испытания на газовых трубах большого диаметра (320 и 700 мм).

Публикации

1. Мансфельд А.Д., Волков Г.П., Беляев Р.В., Купаев А.В., Шанин В.Н., Карюк В.М., Агуреев В.А., Трусило С.В. Способ измерения расхода газа в трубопроводах и устройство для его осуществления. Патент РФ, положительное решение.

2. **3.3.** Предложена новая концепция ускорения протонов и легких ионов до энергий ГэВ при взаимодействии петаваттных лазерных импульсов с интенсивностью 10^{21} – 10^{22} Вт/см² с тонкими твердотельными мишенями. В ее основу положено полное разделение зарядов разных знаков мишени пондеромоторной силой лазерного импульса в режиме релятивистской индуцированной прозрачности и формирование ускоряющего слоя для инжектируемых с передней границы мишени ионов. Наряду с формированием максимально возможного потенциала разделения зарядов на мишени, такая схема позволяет использовать несколько последовательно расположенных мишеней для мультипликации эффекта ускорения и создания многокаскадного ускорителя с квазимоноэнергетическим распределением ионов на выходе. Предложенная концепция представляет интерес для протонографии плотных объектов и создания компактных экономичных источников ионов для адронной терапии.

Авторы: Гоносков А.А., Еремин В.И., Коржиманов А.В., Ким А.В., Сергеев А.М. (ИПФ РАН).

Аннотация. Предложена новая концепция построения структурированной мишени для ускорения протонов и легких ионов до энергий ГэВ при взаимодействии с высококонтрастным сверхмощным лазерным излучением с интенсивностью 10^{21} – 10^{22} Вт/см². В ее основу положено использование двух взаимодополняющих предложений, позволяющих обеспечить моноэнергетическое ускорение ионов, инжектируемых с передней границы мишени. Первое основано на полном разделении зарядов под действием пондеромоторной силы в однослойной твердотельной мишени, состоящей из тяжелых ионов. При этом задача заключается в создании максимально возможного потенциала ускоряющего поля пространственного заряда, что достигается с использованием разреженной (структурированной) среды, обеспечивающей значительно меньшие степени закритичности по сравнению с обычными твердотельными мишенями. Второе предложение связано с возможностью использования нескольких последовательно расположенных мишеней для мультипликации эффекта ускорения и создания многокаскадного ускорителя с квазимоноэнергетическим распределением ионов на выходе. Здесь важным является возможность дополнительного ускорения частиц, обеспечиваемое за счет просветления тонкого слоя мишени сверхсильным лазерным импульсом, что связано с возможностью уменьшения под действием пондеромоторной силы толщины электронного слоя в плазме до толщины скин-слоя. В момент такого просветления происходит разрушение мишени, и часть электронов оказывается захваченной импульсом, который проходит мишень насквозь. Эти электроны способны вырваться на расстояния в несколько микрон, создав тем самым поле разделения зарядов, способное синхронно ускорять протоны и легкие ионы. Прошедший сквозь первый слой импульс можно использовать на следующей мишени, также просветлив ее и создав дополнительную разность потенциалов. При этом ионы, ускоренные на первом слое, попадут в ускоряющий потенциал, созданный во втором слое, дополнительно увеличив свою энергию. Таким образом, возможна реализация идеи каскадного ускорения ионного пучка. Регулируя расстояние между слоями, а также варьируя их параметры, можно эффективно влиять на свойства ускоренных пучков. Предлагаемая схема изучена с помощью численного моделирования методом PIC. Показано, что уже на доступных

исследователям лазерных установках можно получать моноэнергетические протонные пучки с энергиями в сотни МэВ при оптимальном выборе структуры мишени.

Публикации

1. Коржиманов А.В., Гоносков А.А., Ким А.В., Сергеев А.М. Об ускорении протонов и легких ионов до энергий ГэВ при взаимодействии сверхсильного лазерного излучения со структурированной плазменной мишенью // Письма в ЖЭТФ. Т. 86, № 9. С. 662-669.

2. Gonoskov A., Eremin V., Kim A., Korzhimanov A., and Sergeev A.M. Optimization of ion acceleration regimes at relativistically strong laser pulse interaction with overdense plasma layers // Proc. III Int. Conf. "Frontiers of Nonlinear Physics" (FNP 2007), Nizhny Novgorod – Saratov – Nizhny Novgorod, July 3-9, 2007. P. 248.

3. Gonoskov A., Eremin V., Kim A., Korzhimanov A.V., Sergeev A. Ion acceleration regimes at relativistically strong laser pulse propagation through overdense plasma layers // 16-th Int. Laser Physics Workshop (LPHYS'07), León, Mexico, August 20-24, 2007. Paper 2.3.2.

4. Gonoskov A.A., Eremin V.I., Kim A.V., and Sergeev A.M. A new regime of multi-cascade proton acceleration in superintense laser interaction with thin foils // First Int. Conf. on Ultra-Intense Laser Interaction Sciences (ULIS 2007), Bordeaux, France, October 1-5, 2007. Paper P18.

3. **3.4.** Предложена новая, универсальная модель нейрона в виде нелинейного точечного отображения второго порядка. Модель описывает и предсказывает смену основных режимов нейронной активности: возбуждение одиночных и периодических спайков (быстрых коротких импульсов), генерацию подпороговых колебаний (периодических колебаний ниже порога возбуждения нейрона), возбуждение спайков на фоне хаотических подпороговых колебаний, хаотические берстовые колебания (последовательность спайков, распространяющаяся на волне деполяризации) и др. Произведено исследование регулярных и хаотических аттракторов, определяющих эти динамические режимы. В частности, установлено, что хаотические берстовые колебания соответствуют аттрактору, структура которого близка к структуре, образованной параметризацией семейства отображения типа Лоренца. Построены зависимости фрактальной размерности аттрактора от основных управляющих параметров системы.

Авторы: Некоркин В.И., Вдовин Л.В. (ИПФ РАН).

Аннотация. Предложена новая, универсальная модель нейрона в виде нелинейного точечного отображения второго порядка, позволяющая описывать основные режимы нейронной активности: возбуждение периодических и одиночных спайков (гигантский аксон кальмара), генерацию подпороговых колебаний (таламокортикальные нейроны), возбуждение спайков на фоне хаотических подпороговых колебаний (нейроны нижних олив гвинейской свинки) и генерацию хаотических берстовых колебаний (моторные нейроны, кортикальные IV нейроны). Переходы между этими режимами ассоциируются с бифуркациями системы, наблюдаемыми при перестройке управляющих параметров. Основное внимание уделено моделированию берстовых колебаний, играющих ключевую роль при обработке и передаче информации в нейронных системах. Важнейшим свойством предложенной системы является возможность моделирования регулярных и хаотических режимов, что обычно требует специализированных моделей.

Предложенная модель построена на основе дискретной модификации системы ФитцХью–Нагумо при использовании динамических свойств одномерного разрывного отображения. С помощью метода разрывных движений и построения инвариантной области доказано существование и исследована структура хаотического аттрактора, определяющего берстовые колебания нейрона. Структура аттрактора близка к структуре образованной параметризацией аттракторов семейства хаотических отображений типа Лоренца. Изучены основные характеристики этого аттрактора – зависимость наибольшего

ляпуновского показателя и фрактальной размерности от управляющих параметров системы.

Кроме того, показано, что с помощью предложенной модели можно описывать, например, такой сложный режим нейронной активности, как генерация спайков на фоне хаотических подпороговых колебаний, наблюдаемый, например, в нейронах нижних олив. Такая нейронная активность соответствует «двухрусловому» хаотическому аттрактору. Проведено исследование неавтономной динамики системы, наблюдаемой в результате действия внешних стимулов. Установлено, что в определенной области параметров модель обладает двумя порогами, последовательное преодоление которых вызывает отклик либо в виде хаотической последовательности, либо в виде одиночного импульса.

Несмотря на сравнительно простую структуру, предложенная модель позволяет адекватно описывать важнейшие режимы нейронной активности и может быть использована в качестве базового элемента для изучения нейронных сетей сложной архитектуры.

Публикации

1. Некоркин В.И., Вдовин Л.В. Дискретная модель нейронной активности // Изв. ВУЗов. Прикладная нелинейная динамика. 2007. Т. 15, № 5.
2. Courbage M., Nekorkin V.I., and Vdovin L.V. Chaotic oscillations in a map-based model of neural activity // Chaos. 2007. V. 17.
3. Вдовин Л.В. Дискретная модель нейрона с хаотическими берстовыми колебаниями // XII Нижегородская сессия молодых ученых. Естественнонаучные дисциплины. 16–21 апреля 2007 г. Информационное издание (отв. за вып. Зверева И.А.). Нижний Новгород, 2007. С.81-82.
4. Nekorkin V.I., Vdovin L.V. Map-based model of neural activity with chaotic spike-bursting oscillations // Int. Conf. Neuro 2007, Yokohama, Japan, September 10-12, 2007.
5. Courbage M., Nekorkin V.I., Vdovin L.V. Map-based model of the chaotic spiking-bursting neural behavior // Int. Conf. «Chaos, Complexity and Transport», Marseilles, France, June 4-8, 2007.
6. Вдовин Л.В., Некоркин В.И. Спайк-берстовые колебания в модели нейрона с дискретным временем // Докл. Международной школы-конференции «Хаотические автоколебания и образование структур», Саратов, Россия, 9-13 октября 2007 г.

4. **3.5.** Создано семейство новых приборов для локации поглощающих, рассеивающих и флуоресцирующих включений в биотканях. Оптический диффузионный томограф на волнах фотонной плотности (ОДТ ВФП) предназначен для определения компонентного состава (окси- и деоксигемоглобин, жир) биоткани и может быть применен для диагностики рака молочной железы. Диффузионный флуоресцентный томограф (ДФТ) предназначен для получения трехмерных изображений опухолей, меченных флуорофорами, у экспериментальных животных, также позволяет проводить прижизненную молекулярную визуализацию нормальных и патологических процессов в организмах модельных животных, выявлять потенциальные молекулярные мишени для лекарственной терапии и проводить скрининг новых лекарственных препаратов.

Авторы: Каменский В.А., Турчин И.В., Орлова А.Г., Плеханов В.И., Шахова Н.М. (ИПФ РАН).

Аннотация. Методы ОДТ ВФП и ДФТ основаны на регистрации сильно рассеянной (диффузной) компоненты излучения, прошедшей сквозь слой биоткани, с последующей трехмерной реконструкцией оптических неоднородностей. Созданные оптические диффузионные томографы прошли апробацию в медицинских и биологических экспериментах. ДФТ приборы позволяют проводить прижизненный мониторинг молекулярных процессов в нормальных и патологических тканях модельных животных, выявлять потенциальные молекулярные мишени для лекарственной терапии и

проводить скрининг новых лекарственных препаратов. В качестве флуоресцентных маркеров могут применяться экзогенные красители и флуоресцирующие белки. Созданы два типа ДФТ приборов. Первый тип приборов имеет один приемник и один детектор, расположенные в конфигурации «на просвет» и сканирующие исследуемый объект по заданному оптимальному алгоритму. В данном приборе при относительно невысокой его стоимости достигнута высокая чувствительность, достаточная для работы с опухолями, мечеными красными флуоресцирующими белками. Второй тип приборов основан на использовании высокочувствительной ПЗС-матрицы. Характерной особенностью таких приборов является возможность регистрировать рассеянное излучение на длине волны возбуждения флуорофора и в различных спектральных областях флуоресценции. Это позволяет проводить селекцию автофлуоресценции и свечения флуорофора. При наличии соответствующих биоинженерных конструкций данный прибор позволит проводить исследование механизмов действия лекарственных препаратов *in vivo*. Авторским коллективом разработаны структурные и принципиальные схемы для ОДТ ВФП прибора, предназначенного для диагностики рака молочной железы. В ОДТ ВФП используется зондирующее излучение на трех длинах волн (650, 790 и 850 нм), промодулированное по амплитуде с высокой частотой (140 МГц), что позволяет проводить реконструкцию компонентного состава биоткани (окси-, деоксигемоглобин, жир). Концентрации данных компонент существенно различаются в нормальных тканях, злокачественных и доброкачественных опухолях. Благодаря неинвазивности данного метода, он может быть применен для мониторинга терапевтического воздействия (химиотерапия, лучевая терапия) и, соответственно, для выбора оптимальной стратегии терапии.

Публикации

1. Turchin I.V., Balalaeva I.V., Vasil'ev R.B., Zlomanov V.P., Plehanov V.I., Orlova A.G., Zagaynova E.V., Kamensky V.A., Kleshnin M.S., Shirmanova M.V., Dorofeev S.G., and Dirin D.N. Imaging of QDs-labeled tumors in small animals by fluorescence diffuse tomography // *Laser Physics Letters*. 2006. V. 3, N 4. P. 208-211.
2. Turchin I.V., Plehanov V.I., Orlova A.G., Kamenskiy V.A., Kleshnin M.S., Shirmanova M.V., Shakhova N.M., Balalaeva I.V., Savitskiy A.P. Fluorescence diffuse tomography of small animals with DsRed2 fluorescent protein // *Laser Physics*. 2006. V. 16, N 5. P. 741-746.
3. Turchin I.V., Savitsky A.P., Kamensky V.A., Plehanov V.I., Meerovich I.G., Arslanbaeva L.R., Jerdeva V.V., Orlova A.G., Kleshnin M.S., Shirmanova M.V., and Fiks I.I. Fluorescence diffuse tomography for detection of RFP-expressed tumors in small animals // *Genetically Engineered and Optical Probes for Biomedical Applications IV* (Samuel Achilefu, Darryl J. Bornhop, Ramesh Raghavachari, Alexander P. Savitsky, and Rebekka M. Wachter, eds.) // *Proc. SPIE*. 2007. V. 6449. Paper 644915.
4. Plehanov V.I., Turchin I.V., Sergeeva E.A., and Kamensky V.A. Frequency-domain photon density wave setup with multicolor illumination at 684, 794, and 1060 nm // *Saratov Fall Meeting 2006: Optical Technologies in Biophysics and Medicine VIII* (Valery V. Tuchin, ed.). *Proc. SPIE*. 2007. V.6535. Paper 653508.

3.6. При исследовании тепловых эффектов в лазерной керамике экспериментально обнаружен предсказанный ранее эффект модуляции термонаведенной фазы пучка с характерным поперечным размером порядка размера зерна. Эффект обусловлен случайной (зависящей от ориентации кристаллографических осей) компонентой тепловой линзы и не имеет аналога ни в стеклах, ни в монокристаллах. Среднеквадратичное отклонение фазы пучка пропорционально мощности тепловыделения в полном соответствии с теоретическим анализом. Учет этого эффекта имеет принципиальное значение для построения мощных лазерных установок на основе лазерной керамики.

Авторы: Зеленогорский В.В., Кожеватов И.Е., Мухин И.Б., Палашов О.В., Снетков И.Л., Соловьев А.А., Хазанов Е.А. (ИПФ РАН).

Аннотация. Использование керамики в лазерах с большой мощностью (средней и пиковой) весьма перспективно по трем причинам. Во-первых, керамика имеет большую, как у стекла, апертуру и большую, как у монокристалла, теплопроводность. Во-вторых, имеется возможность создания керамики из кристаллов, в принципе не выращиваемых в виде монокристалла. В-третьих, вязкость разрушения керамики в 3–5 раз, а параметр теплового разрушения – в 3 раза больше, чем в монокристалле.

При наличии градиента температуры каждое зерно керамики представляет собой фазовую пластинку, направление оптических осей и скорость собственных поляризаций в которой зависят от ориентации кристаллографических осей. Кристаллографические оси в любом керамическом зерне ориентированы произвольным образом и никак не связаны с ориентацией соседних зерен. Следовательно, термонаведенная фаза (тепловая линза) является функцией большого числа случайных величин. Ранее были получены аналитические выражения для набега фазы, его математического ожидания и среднеквадратичного отклонения. В проведенном исследовании эти результаты обобщены на случай тонкого диска, а также подтверждены экспериментально.

Эксперименты проводились на керамическом флюорите CaF_2 с характерным размером гранул порядка 0.3 мм. Для измерения искажения фазы использовался высокоточный оптический интерферометр с поперечным разрешением 10 микрон и точностью измерения $\lambda/3000$. Для повышения точности измерений использовался механический расщепитель спеклов, синхронизованный с CCD камерой. Использование различных вариантов интерференционной схемы позволило частично разделить искажения фазы на поверхности и в объеме керамического элемента. В тепловых искажениях фазы проходящего излучения экспериментально обнаружены неоднородности, масштаб которых совпадает с размером зерен керамической среды. Показано, что среднеквадратичное отклонение этих неоднородностей пропорционально мощности греющего излучения, что совпадает с результатами аналитического и численного расчетов.

Публикации

1. Снетков И.Л., Мухин И.Б., Палашов О.В., Хазанов Е.А. Особенности тепловой линзы в лазерной керамике // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 7. С. 633-638.

2. Snetkov I., Mukhin I., Palashov O., and Khazanov E.A. Specificity of thermal lensing in laser ceramics // Conf. Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference and Photonic Applications Systems Technologies, OSA Technical Digest Series (CD). Optical Society of America, 2007. Paper CThT4.

3. Mukhin I.B., Palashov O.V., Snetkov I.L., and Khazanov E.A. Thermally induced wavefront distortions in laser ceramics // Laser Optics 2006: Solid State Lasers and Nonlinear Frequency Conversion (Vladimir I. Ustyugov, ed.). Proc. SPIE. 2007. V.6610. Paper 66100N.

4. Soloviev A.A., Snetkov I.L., Mukhin I.B., Palashov O.V., Khazanov E.A., Zelenogorsky V.V., and Kozhevnikov I.E. Experimental study of thermal lensing in laser ceramics // IEEE J. Quantum Electr. (to be published).

5. **3.7.** Предложен подход к исследованию долговременной эволюции молекулярных колебательных волновых пакетов, основанный на измерении вариаций интенсивности сигнала высоких гармоник лазерного излучения в схеме «накачка-зондирование». В данном подходе используется теоретически предсказанный эффект резкого (до пяти порядков величины) возрастания эффективности генерации гармоник в заданном спектральном окне с увеличением межъядерного расстояния в молекулах. Продемонстрированная на примере колебательного волнового пакета в молекулярном ионе D_2^+ возможность наблюдения дробных возрождений высокого порядка

свидетельствует о применимости предложенного подхода для зондирования внутримолекулярной динамики с временным разрешением порядка 1–2 фемтосекунд.

Авторы: Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю., Сергеев А.М. (ИПФ РАН).

Аннотация. Благодаря значительному прогрессу в методологии и технике измерений с высоким временным разрешением фемто- и аттосекундной динамики электронов и ядер в молекулах в последние годы сформировалось новое направление в физике сверхбыстрых процессов – сверхбыстрый молекулярный динамический имиджинг. Перспективным инструментом для осуществления молекулярного динамического имиджинга оказывается генерация высоких гармоник лазерного излучения.

В первых теоретических исследованиях и демонстрационных экспериментах выявлены возможности получения информации о структуре молекул и ее временных изменениях из анализа спектров высоких гармоник лазерного излучения в молекулярных газах. Однако продемонстрированные к настоящему времени методы, основанные на генерации высоких гармоник, оказываются неприменимыми к легким молекулам или способны давать информацию о внутримолекулярной динамике лишь в узком временном окне, ограниченном длительностью периода лазерного излучения (2–3 фемтосекунды).

Сотрудниками ИПФ РАН предложен подход к исследованию внутримолекулярной динамики, дающий возможность получать информацию о долговременной (на протяжении более чем 1 пикосекунды) эволюции молекулярных колебательных волновых пакетов, в том числе в легких (например, водородсодержащих) молекулах. В данном подходе используется предсказанный авторами эффект резкого (до пяти порядков величины) возрастания эффективности генерации гармоник в заданном спектральном окне с увеличением межъядерного расстояния в молекулах. Этот эффект возникает вследствие известного явления ускоренной ионизации молекул при межъядерных расстояниях, превышающих некоторое критическое значение. Благодаря этому эффекту часть колебательного волнового пакета, оказывающаяся в процессе эволюции локализованной в критической области межъядерных расстояний, дает резкое увеличение вклада в сигнал гармоник, регистрируемых в заданном спектральном интервале.

На примере колебательного волнового пакета в молекулярном ионе D_2^+ продемонстрирована возможность использования генерации гармоник для наблюдения дробных возрождений высокого порядка, соответствующих расщеплению исходного пакета на несколько идентичных реплик. Дробные возрождения ядерного волнового пакета приводят к появлению в сигнале гармоник, измеряемого в зависимости от времени задержки зондирующего (probe) лазерного импульса относительно накачки (pump), осцилляций с периодом, меньшим по сравнению с классическим периодом движения пакета в потенциальной яме, в количестве раз, равное числу реплик. Наблюдение в вычисленном авторами теоретически pump-probe сигнале для иона D_2^+ , зондируемого 8-фс лазерными импульсами, осцилляций, соответствующих возникновению до 5 реплик исходного колебательного пакета, свидетельствует о применимости предложенного подхода для зондирования внутримолекулярной динамики с временным разрешением порядка 1–2 фемтосекунд.

Публикации

1. Emelin M.Yu., Ryabikin M., and Sergeev A.M. Monitoring long-term evolution of molecular vibrational wave packet using high-order harmonic generation // *New Journal of Physics* (to be published).

2. Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu., and Sergeev A.M. Monitoring of nuclear vibration using high-order harmonic generation in non-aligned D_2^+ ions // *Contributions to SILAP 2006 (Super Intense Laser Atom Physics 2006)*, Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain, June 19-23, 2006. P. 108-109.

3. Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu., and Sergeev A.M. Monitoring long-term evolution of molecular vibrational wavepacket using high-order harmonic generation // Technical Digest of ICONO/LAT 2007, Minsk, Belarus, May 28–June 1, 2007. Paper I09/II-1 (invited).

4. Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu., and Sergeev A.M. Probing collapses and revivals of molecular vibrational wave packet using high harmonic generation // Abstracts of European Conference on Atoms, Molecules & Photons (ECAMP IX), Heraklion, Crete, Greece, May 6–11, 2007. Paper Tu2-9.

5. Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu., and Sergeev A.M. Probing long-term evolution of vibrational wave packet in light-weight molecules using high-order harmonic generation // Schedule, programme and list of abstracts of Photons, Atoms, and Qubits 2007 (PAQ07), London, Great Britain, September 2–5, 2007. Paper 55.

6. **3.8.** Исследованы физико-химические механизмы самосборки пространственных белковых структур в каплях модельных белково-солевых растворов, высыхающих на твердой смачиваемой подложке. Выявлены основные критические точки фазовых переходов: стеклование белка; мицеллообразование; отвердевание мицелл и формирование белковых преципитатов; формирование фрактальных кластеров; образование геля; кристаллизация соли в белковом геле. Экспериментально определены соотношения компонентов для основных критических точек фазовых переходов и предложена схема эволюции белковых структур. Использованные методы: оптическая и атомно-силовая микроскопия, акустическая импедансометрия, физическое моделирование. Полученные данные полезны для понимания патогенеза образования пространственных белковых структур в плазме крови людей при нарушении гомеостаза.

Авторы: Яхно Т.А., Санин А.Г., Шапошникова О.Б., Санина О.А., Яхно В.Г. (ИПФ РАН).

Аннотация. Высохшая капля белково-солевого раствора имеет четкую зональную структуру. Переход высыхающей капли в твердотельное состояние распространяется от периферии к центру и отражает динамику фазовых переходов в коллоидной системе: зона гомогенного белка соответствует молекулярному раствору; ближе к центру на белковой подложке видны сначала отдельно расположенные белковые преципитаты микронных размеров; затем они объединяются и формируют фрактальные кластеры, которые переходят в гель, занимающий центральную часть капли. Оптически видимые структуры являются следствием фазового расслоения белка и дальнейшего каскада самосборки структур при повышении ионной силы раствора в жидкой части высыхающей капли.

Соотношение компонентов в жидкой фазе капли меняется в силу следующих событий:

1. Испарение свободной воды.

2. Вынос значительной массы белка (~70%) в начале высыхания на периферию капли и формирование там твердотельного белкового валика, в то время как средняя часть капли остается жидкой.

Масса соли в жидкой фазе капли остается постоянной вплоть до достижения насыщения и начала кристаллизации (финальная часть высыхания), что обеспечивает градиент повышения ионной силы раствора, вызывающий каскад фазовых переходов белка.

Публикации

1. Yakhno T., Sanin A., Pelyushenko A., Kazakov V., Shaposhnikova O., Chernov A., Yakhno V., Vacca C., Falcone F., Johnson B. Uncoated quartz resonator as a universal biosensor // Biosensors and Bioelectronics. 2007. V. 22, N 9–10. P. 2127-2131.

2. Яхно Т.А., Казаков В.В., Санин А.Г., Шапошникова О.Б., Чернов А.С. Сравнительная оценка механических свойств адсорбционных слоев в растворах белков сыворотки крови человека // ЖТФ. 2007. Т. 77, № 4. С. 119-122.

3. Яхно Т.А., Казаков В.В., Санин А.Г., Шапошникова О.Б., Чернов А.С. Динамика фазовых переходов в высыхающих каплях растворов белков сыворотки крови человека // ЖТФ. 2007. Т. 77, № 4. С. 123-127.

4. Яхно Т.А., Яхно В.Г., Санин А.Г., Пелюшенко А.С., Шапошникова О.Б., Чернов А.С. Феномен высыхающей капли и возможности его практического использования // Нелинейный мир. 2007. № 1–2. С. 47-54.

5. Яхно Т.А., Санин А.Г., Яхно В.Г. Динамика фазовых переходов в высыхающих каплях биологических жидкостей: физико-химические основы, способ регистрации и извлечения диагностической информации // Медицина в зеркале информатики. М: Наука, 2007 (принята к печати).

6. Яхно Т.А., Санин А.Г., Шапошникова О.Б. Фазовые переходы белка в модельной системе (высыхающая капля) и их возможное биологическое значение // Цитология. 2007. Т. 49, № 9. С. 808-809.

3.9. Предложен способ понижения порога генерации непрерывного твердотельного лазера, который состоит во внедрении активных центров в волноводную область фотонно-кристаллической структуры с запрещенной фотонной зоной, перекрывающейся с линией люминесценции рабочего перехода. Понижение порога происходит вследствие подавления спонтанного излучения активных центров за счет сужения диаграммы направленности спонтанного излучения. Теоретически показано, что предложенный способ позволит получить *непрерывную перестраиваемую* генерацию в ультрафиолетовом диапазоне 282-315 нм в кристалле $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCaAlF}_6$ при накачке твердотельным лазером. Он также может быть использован для повышения эффективности лазерной генерации в непрерывном режиме и режиме модуляции добротности в оптическом диапазоне.

Авторы: Радионычев Е.В., Корюкин И.В. (ИПФ РАН).

Аннотация. Предложен способ понижения порога генерации непрерывного твердотельного лазера, который состоит во внедрении активных центров в волноводный дефект фотонно-кристаллической структуры с запрещенной фотонной зоной, перекрывающейся с линией люминесценции рабочего перехода. В этом случае имеет место подавление спонтанного излучения активных центров (увеличение времени жизни верхнего рабочего уровня) за счет сужения диаграммы направленности спонтанного излучения и, как следствие, понижение порога генерации.

Предложено несколько схем реализации указанного способа, основанных на использовании трехмерных и двумерных фотонных кристаллов. Трехмерные схемы обеспечивают наилучшие условия для понижения порога генерации. Однако понижение порога до 7 раз возможно также в случае, когда активная среда находится в двумерной фотонно-кристаллической структуре. Этого должно быть достаточно для получения непрерывной перестраиваемой генерации в ультрафиолетовом диапазоне 282–315 нм в кристалле $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCaAlF}_6$ при накачке коммерчески доступными твердотельными лазерами. Таким образом, становится возможным решение актуальной задачи лазерной физики по реализации полностью твердотельного ультрафиолетового лазера с непрерывным перестраиваемым в широком диапазоне излучением.

Показано, что предложенный способ может быть использован в оптическом диапазоне для повышения эффективности лазерной генерации в непрерывном режиме, а также в режиме модуляции добротности.

Фундаментальным следствием предложенного способа является возможность обойти известную дилемму лазерного усиления, а именно получить большую инверсию населенностей на переходе с большим сечением.

Публикации

1. Koryukin I.V., Radeonychev Y.V. Photonic crystal laser for ultraviolet region // Technical Digest of Int. Conf. on Coherent and Nonlinear Optics // Int. Conf. on Lasers, Application, and Technologies (ICONO/LAT 2007), Minsk, Belarus, May 28–June 1, 2007. Paper I02/V-2.

2. Radeonychev Y.V., Koryukin I.V., Kocharovskaya O. Ultraviolet continuous wave photonic crystal laser // Proc. III Int. Conf. "Frontiers of Nonlinear Physics" (FNP 2007), Nizhny Novgorod – Saratov – Nizhny Novgorod, July 3–9, 2007. P. 193-194.

3. Radeonychev Y.V. and Koryukin I.V. Photonic band gap laser for ultraviolet region // Conf. program of Int. Conf. on Laser Physics – 2007, Ashtarak, Armenia, October 9–12, 2007. P. 2.

4. Radeonychev Y.V. and Koryukin I.V. Continuous wave photonic crystal laser in ultraviolet range // Phys. Rev. A (submitted).

3.10. На примере кристалла KDP с помощью специально разработанной установки впервые исследованы *in situ* процессы возникновения и движения сгустков ступеней роста на поверхности кристалла в растворе. Определены основные параметры сгустков в зависимости от условий роста. Показано, что основным фактором, определяющим образование и структуру сгустков ступеней, являются условия питания растущей грани кристалла. Теоретическое исследование показало, что основные свойства сгустков ступеней удовлетворительно описываются в предложенной модели нестационарного диффузионного пограничного слоя заданной толщины.

Авторы: Бредихин В.И., Галушкина Г.Л., Кузнецов С.П., Кулагин А.А., Мальшакова О.А. (ИПФ РАН).

Аннотация. Экспериментально с помощью специально разработанной установки с применением оптического теневого метода исследованы *in situ* образование и движение сгустков ступеней на примере кристалла KDP. Исследования проводились при выращивании одной (101) или (100) гранью в формообразующей оптической ячейке с принудительным питанием (помпа с соплом). При этом исследуемая грань (с размером до 8×8 см) остается неподвижной, что существенно упрощает технику исследований. Установлено, в частности, что:

1. При прочих равных условиях роста основным фактором, определяющим образование и структуру сгустков ступеней, являются гидродинамические условия питания.

2. Сгустки ступеней представляют из себя образования из несвязанных ступеней с повышенной плотностью элементарных ступеней. Эти образования являются обратимыми, т.е. они могут исчезнуть без образования видимых дефектов при благоприятных гидродинамических условиях. При неблагоприятных условиях сгустки ступеней могут перейти в неуправляемые структуры, приводящие к захватам раствора и появлению прослоек.

3. Сгустки ступеней образуются на некотором расстоянии от генерирующего ростового центра. Это расстояние зависит от гидродинамических условий.

4. Как правило, сгустки ступеней образуют бегущие квазипериодические волны, амплитуда, скорость распространения и волновой вектор которых зависят от гидродинамических условий.

5. Возможны одиночные, квазисолитонные сгустки ступеней.

6. Превышение скорости роста над оптимальной при тех же гидродинамических условиях также приводит к появлению сгустков ступеней.

Теоретическое исследование показало, что основные свойства сгустков ступеней удовлетворительно описываются в предложенной модели нестационарного (динамического) диффузионного пограничного слоя. Путем решения граничной задачи для нестационарного двумерного уравнения диффузии при заданной толщине диффузионного слоя δ , уравнения движения плотности n элементарных ступеней и

связывающего их на растущей поверхности граничного условия третьего рода получены нелинейные дифференциальные уравнения для относительного пересыщения σ на поверхности и плотности n элементарных ступеней. Система уравнений исследовалась численно для случаев бегущих, связанных периодических и одиночных квазисолитонных волн для n и σ . Показано, что волны сгустков возникают при отклонении ростовых (n , σ , δ и R , где R – средняя нормальная скорость роста) параметров от равновесных. Амплитуда, период и скорость распространения волн зависят от степени отклонения ростовых параметров от равновесных. Найденные параметры волновых и квазисолитонных сгустков удовлетворительно согласуются с найденными из экспериментальных данных. Предложенная модель применима для выращивания кристаллов из растворов, в том числе в гелях.

Публикации

1. Bredikhin V.I., Galushkina G.L., Kulagin A.A., Kuznetsov S.P., Malshakova O.A. Competing growth centers and step bunching in KDP crystal growth from solutions // J. Crystal Growth. 2003. V. 259, N 3. P. 309-320.
2. Bredikhin V.I. and Malshakova O.A. Step bunching in crystal growth from solutions: Model of nonstationary diffusion layer, numerical simulation // J. Crystal Growth. 2007. V. 303, N 1. P. 74-79.

3.11. Разработаны метод и устройство для измерения уровня жидкости, содержащейся в закрытой емкости, при невозможности доступа к ней со стороны свободной поверхности. Ультразвуковая локация границы раздела «жидкость-газ» производится через стенку емкости, при расчете уровня и объема жидкости учитываются температурный дрейф скорости звука, параметры стенки емкости и ее форма. Метод реализован в автономном ультразвуковом измерителе уровня, позволяющем проводить измерения на герметичных емкостях, содержащих токсичные и агрессивные жидкости, в том числе и во взрывоопасной зоне, а также на емкостях, полностью размещенных в грунте. Точность измерения уровня жидкости в диапазоне до 2 м составляет 5 мм, с дополнительным опорным каналом – 2 мм. Измеритель прошел серию лабораторных испытаний на тестовой емкости, а также натурные испытания на газораспределительной станции на штатной емкости, содержащей одорант природного газа (меркаптан).

Авторы: Беляев Р.В., Рейман А.М., Купаев А.В., Шанин В.Н., Кириллов А.Г. (ИПФ РАН), Грибов В.А., Шишков А.В. (ООО «Медуза»).

Аннотация. При создании различных технологических систем в промышленности (нефтегазовой, химической, пищевой) возникает необходимость непрерывных измерений уровня жидкости в емкостях. Погружные датчики уровня обладают невысокой точностью. В этих случаях применяется СВЧ или ультразвуковая локация, причем локатор вводится внутрь емкости и зондирование производится через воздух. Однако существуют задачи, при которых установка локатора в емкость невозможна из-за необходимости обеспечить герметичность емкости (например, для измерения уровня ядовитых, агрессивных или летучих жидкостей).

Авторским коллективом разработаны метод и устройство для измерения уровня жидкости, содержащейся в закрытой емкости, при невозможности доступа к ней со стороны свободной поверхности. Ультразвуковая локация границы раздела «жидкость-газ» производится через стенку емкости с помощью раздельно-совмещенного преобразователя, возбуждаемого короткими импульсами в диапазоне 2.5 МГц. Принятые сигналы, отраженные от границы раздела «жидкость-воздух», принимаются, усиливаются и передаются в цифровой блок, где обрабатываются микропроцессором. Алгоритм обработки позволяет выделять отраженный сигнал на фоне импульсных и непрерывных помех, многократных отражений, исключать реверберационные сигналы.

Для пересчета времени задержки отраженного импульса в расстояние разработаны алгоритмы измерения с заданными скоростью звука и ее температурным дрейфом, с однократным и двукратным измерением скорости звука при различных температурах, а также схема с опорным каналом, исключающая необходимость калибровки. При вычислениях учитываются также акустические параметры стенки емкости и ультразвукового преобразователя. Алгоритм обработки позволяет также пересчитывать значение уровня жидкости в объем с учетом геометрии емкости, передавать информацию по протоколу «Токовая петля 4–20 мА», а также управлять включением аварийной сигнализации при выходе значения уровня за заданные границы.

Устройство выполнено в виде автономного блока с ЖК индикатором и пленочной клавиатурой, к которому подключаются один или два акустических зонда, устанавливаемых на емкость. При разработке конструкции и принципиальных схем решен ряд технических задач обеспечения работоспособности, коррозионной стойкости и пылевлагозащиты в сложных климатических условиях эксплуатации. Прибор позволяет проводить измерения на герметичных емкостях диаметром до 3 м с металлической стенкой толщиной до 20 мм, в том числе и во взрывоопасной зоне, а также на емкостях, полностью размещенных в грунте.

Измеритель прошел лабораторные испытания на тестовой емкости с водой. Точность измерения уровня жидкости в диапазоне до 2 м составляет 5 мм, с дополнительным опорным каналом – 2 мм. Проведены также натурные испытания на газораспределительной станции на штатной емкости, содержащей одорант природного газа (меркаптан), при этом выходная информация прибора была включена в телеметрический поток для передачи на центральный диспетчерский пульт. Также проведено сравнение соответствия показаний разработанного прибора и СВЧ-уровнемера VM702 производства Krohne (Германия) (для работы которого требуется введение локатора внутрь емкости через специальную горловину). Испытания показали, что разработанный прибор удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к таким измерителям эксплуатирующими организациями.

3.12. Найдена геометрическая группа симметрии внутренней динамики молекул с двумя тождественными метильными волчками с несовпадающими осями вращения (например, важных для астрофизики молекул диметилового эфира и ацетона). На этой основе построена строгая модель описания спектров таких молекул в основном электронно-колебательном состоянии, приводящая к простой алгебраической схеме расчёта как положения уровней в энергетическом спектре, так и интенсивностей переходов между ними. Предсказан новый тип вращательных электродипольных переходов.

Автор: Буренин А.В. (ИПФ РАН).

Аннотация. В молекулах диметилового эфира $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ и ацетона $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ в основном электронном состоянии происходит внутреннее вращение двух тождественных метильных волчков, оси которых не совпадают. Равновесные конфигурации этих молекул однотипны и относятся к точечной группе C_{2v} . Высота барьера внутреннего вращения для молекулы ацетона всего лишь 251 см^{-1} , то есть торсионные эффекты весьма значительны. Построение адекватных моделей описания спектров этих молекул затруднено, прежде всего, необходимостью учета тождественности метильных волчков. Фактически такой учет можно сделать лишь методами симметрии. Впервые это было сделано в классической работе Myers R.J., Wilson E.B. (J. Chem. Phys., 1960, v. 33, p. 186-191) в предположении, что для описания внутренней динамики достаточно пяти переменных (три угла Эйлера и два угла, задающие внутреннее вращение двух волчков).

Такая модель была положена и в основу построения описания спектра высокого разрешения (Groner P. // J. Mol. Struct., 2000, v. 550-551, p. 473-479; Groner P., Albert S., Herbst E., De Lucia F.C., Lovas F.J., Drouin B.J., Pearson J.C. // The Astrophysical J. Supplement Series, 2002, v. 142, p. 145-151). Но эта модель является довольно грубой, так как пяти переменных для задания динамики недостаточно. При этом ее корректное уточнение стандартными методами сталкивается с очень большими трудностями.

Автором для решения задачи использованы методы цепочки групп симметрии (Буренин А.В. // УФН, 2006, т. 176, № 8, с. 847-856; Буренин А.В. Симметрия квантовой внутримолекулярной динамики. 2-е изд., Н. Новгород: ИПФ РАН, 2006). При работе методами теории возмущений (ТВ) основная проблема связана не только с отсутствием знания о свойствах получаемых рядов ТВ, но и со значительными трудностями при расчете даже низших поправок. Предположим, что информация о молекуле ограничена только свойствами симметрии используемых моделей. В этом случае возникает проблема сшивки решений в соседних моделях по симметрии. Принципиально, что эта задача решается точно. Этому способствует то, что зачастую имеется конечное число элементов симметрии, по которым осуществляется сшивка, а также тот факт, что изменение условий сшивки сразу ведет к радикальным последствиям в описании. Вся информация по цепочке (для заданного электронного состояния) собирается в геометрической группе симметрии (точечная группа для жесткой молекулы), причем известно, какие элементы этой группы: а) сопоставляются строгим (фундаментальным) элементам симметрии; б) задают различные типы движения. В результате получается строгое решение в терминах симметрии, которое приводит к простой алгебраической схеме расчета положения энергетических уровней и интенсивностей переходов между ними.

Следует подчеркнуть, что рассмотрение свойств симметрии в работе Myers R.J., Wilson E.V. (J. Chem. Phys., 1960, v.33, p.186-191) на основе достаточно грубой модели с пятью переменными не позволило корректно определить даже правила отбора для вращательных электродипольных переходов.

Ранее методами цепочки групп динамика молекулы с двумя тождественными метильными волчками рассматривалась при условии, что оси волчков совпадают (типичный пример – молекула этана Буренин А.В. Симметрия квантовой внутримолекулярной динамики. 2-е изд., Н.Новгород: ИПФ РАН, 2006).

Публикации

Буренин А.В. Описание торсионного движения тождественных волчков в молекулах диметилового эфира и ацетона // Оптика и спектроскопия. 2007. Т. 103, № 6. С. 935-942.

3.13. Разработан аппаратно-программный комплекс для регистрации частотных зависимостей динамической жесткости и механического импеданса глаза человека (через веко) и предложена феноменологическая модель наблюдаемых свойств, представляющая собой два связанных последовательно механических резонансных контура. Идентификация параметров модели по экспериментальным данным позволяет определять механические характеристики глаза и глазной орбиты, имеющие потенциальную диагностическую информативность.

Авторы: Тиманин Е.М., Еремин Е.В. (ИПФ РАН).

Аннотация. Для исследования частотных зависимостей жесткости и импеданса биологических тканей, наблюдающихся при взаимодействии с колеблющимся штампом, построен специализированный аппаратно-программный комплекс, состоящий из миниатюрного вибродатчика, электронного блока формирования сигналов и управляющей программы. Особенности комплекса являются возможность измерения слабого статического давления штампа на объект и возможность организации биологической обратной связи для стабилизации этого давления. Эти особенности позволяют исследовать частотные зависимости жесткости и импеданса биологических объектов,

которые ранее не были доступными, в частности, интактного глаза человека (через веко). Разработана лабораторная методика таких исследований и зарегистрированы характерные частотные зависимости жесткости и импеданса глаза. Установлено, что регистрируемые зависимости существенно отличаются от соответствующих известных зависимостей, наблюдающихся на поверхностных тканях тела человека. Для их интерпретации предложена феноменологическая модель глаза в виде двух связанных последовательно механических резонансных контуров, составленных из груза, пружины и демпфера. При аппроксимации экспериментальных частотных зависимостей теоретическими выражениями для жесткости и импеданса двухконтурной модели получено очень хорошее соответствие теории и эксперимента. Найденные при этом численные значения масс грузов позволили предположить, что один из резонансных контуров связан с колебаниями всего глазного яблока как целого, а второй – с локальными колебаниями в области контакта штампа с тканями. Проведены дополнительные исследования частотных зависимостей жесткости и импеданса глаза с использованием штампов разных диаметров и различных давлений штампа на глаз. Найденные в результате зависимости механических характеристик глаза от диаметра штампа и от величины давления штампа на глаз подтвердили сделанные предположения о природе резонансных контуров. Проведены предварительные лабораторные эксперименты по исследованию диагностической информативности определяемых параметров, которые показали, что эти параметры достоверно изменяются с возрастом, достоверно различаются у мужчин и у женщин, а также достоверно различаются у здоровых испытуемых и у испытуемых с близорукостью.

Публикации

1. Тиманин Е.М., Еремин Е.В., Соколова Е.С. Идентификация параметров механической модели глаза человека по частотным зависимостям жесткости и импеданса // Тезисы докладов VIII Всероссийской конференции по биомеханике, Н. Новгород, 22–26 мая 2006 г. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2006. С. 109-110.

2. Тиманин Е.М., Еремин Е.В., Соколова Е.С. Измерения жесткости глазного яблока плоским колеблющимся штампом // Тезисы докладов VIII Всероссийской конференции по биомеханике, Н. Новгород, 22–26 мая 2006 г. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2006. С. 111-112.

3. Соколова Е.С., Тиманин Е.М. Физическая модель жесткости глазного яблока при его деформировании плоским штампом // XI нижегородская сессия молодых ученых. Естественнонаучные дисциплины (Н. Новгород, 16–21 апреля 2006 г.): Материалы докладов. Н. Новгород: Изд. Гладкова О.В., 2006. С. 54-55.

4. Тиманин Е.М., Еремин Е.В. Регистрация и моделирование жесткости и импеданса глаза человека // Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика. Сборник трудов XIX сессии Российского акустического общества. Т. 3. М.: ГЕОС, 2007. С. 141-145.

3.14. Показано, что возникающий при насыщении лазерного усиления временной сдвиг максимума интенсивности лазерного импульса, демонстрирующий известный эффект сверхсветового распространения излучения в активной среде, пропорционален нормированному на энергию насыщения энергосъему с усилителя. Результаты получены в экспериментах по усилению наносекундных импульсов в кристалле Nd:YLF и подтверждены простыми аналитическими соотношениями.

Авторы: Мартьянов М.А., Лучинин А.Г., Потемкин А.К., Хазанов Е.А. (ИПФ РАН).

Аннотация. При усилении импульсного лазерного излучения в режиме насыщения всегда в той или иной мере наблюдается искажение формы импульса. Как было замечено

уже в первых работах по теории усиления, для колоколообразных импульсов искажение в основном проявляется как сдвиг импульса во времени – более быстрое появление на выходе усилителя усиленного импульса по сравнению с неусиленным. Сдвиг выходного импульса имеет существенное значение в тех случаях, когда усиленный импульс необходимо синхронизовать. При слабом насыщении сдвиг импульса пренебрежимо мал, однако при сильном насыщении он может быть соизмерим с длительностью импульса. Для количественного описания временного сдвига необходимо выбрать критерий. Наиболее простой критерий – разница между моментами времени, в которые интенсивности выходного и входного импульсов принимают максимальное значение: Δt_I . Этот критерий удобен для гладких колоколообразных импульсов при незначительных искажениях их формы. Для сложных импульсов при усилении удобно использовать разницу Δt_{mI} между центрами тяжести выходного и входного импульсов.

При усилении мощных коротких импульсов важное значение имеет эффект самофокусировки, характеризуемый величиной B , называемой интегралом распада или B -интегралом. Для описания временного сдвига B -интеграла удобно использовать разницу между моментами времени, в которые $B(t)$ принимает максимальное значение для усиленного и неусиленного импульсов Δt_B , или разницу между первыми моментами этих импульсов Δt_{mB} .

Вычислить все указанные временные сдвиги Δt_I , Δt_{mI} , Δt_B и Δt_{mB} , а также максимальную выходную интенсивность I_{outmax} и значение B_{max} для каждого конкретного случая можно численно. Авторами для всех вышеперечисленных величин аналитически получены простые приближенные формулы для случая слабого насыщения. В частности, показано, что временные сдвиги максимума интенсивности и B -интеграла пропорциональны нормированному на энергию насыщения энергосъему с усилителя, причем коэффициент пропорциональности примерно равен $1/7$ и $1/14$ от длительности импульса соответственно. Показано, что погрешность этих формул незначительна даже в случае сильного насыщения, и они могут быть использованы в большинстве практических приложений.

Публикации

Мартьянов М.А., Лучинин А.Г., Потемкин А.К., Е.А.Хазанов. Линейная зависимость временного сдвига усиленного импульса от энергосъема с лазерного усилителя // Квантовая электроника (принята в печать).

3.15. На основе лабораторных экспериментов и численного моделирования установлено, что в ограниченных периодических решетках нелинейных полей возможны связанные состояния и последовательности пространственно-временных и пространственных дефектов с отличным от нуля суммарным топологическим зарядом. Лабораторные эксперименты проведены с течением Тэйлора – Куэтта между вращающимися цилиндрами и с параметрически возбуждаемой рябью Фарадея, а численное моделирование – для одномерного и двумерного уравнений Гинзбурга – Ландау. Обнаруженные типы дефектов представляют интерес как новые «строительные блоки» при построении общей теории пространственно-временного хаоса и перехода к турбулентности в диссипативных неравновесных средах.

Авторы: Афенченко В.О., Езерский А.Б., Кияшко С.В., Назаровский А.В. (ИПФ РАН).

Аннотация. Одним из основных подходов к построению теории пространственно-временного хаоса и перехода к турбулентности является выделение и изучение характеристик отдельных «строительных блоков» типа топологических дефектов, источников и стоков, дырок Нозаки – Бекки и т.д. Обычно такие строительные блоки изучаются на основе модельных уравнений, а затем их идентифицируют в различных

физических экспериментах. При решении модельных уравнений, как правило, используются периодические граничные условия, как наиболее удобные и естественные с точки зрения математической постановки задачи.

Как показали наши расчеты, динамические режимы и, соответственно, характеристики строительных блоков существенным образом зависят от граничных условий. Например, если в одномерном уравнении Гинзбурга – Ландау вместо периодических граничных условий использовать однородные (поле на границах равно нулю), то изменяются все бифуркационные кривые, которые на протяжении долгого времени подробно изучались во многих работах. Так, в этом случае возможно возбуждение пространственно-временного дефекта (дефект на плоскости «координата–время») или периодической во времени последовательности пространственно-временных дефектов в области параметров, где уравнение устойчиво по отношению к бесконечно малым возмущениям.

Такие режимы были обнаружены в системе вихрей, возникающих между концентрическими цилиндрами, вращающимися в разные стороны (течение Куэтта – Тэйлора между цилиндрами). Обнаружено, что в такой системе может происходить периодическое во времени «раздвоение-слияние» вихрей, связанное с их перезамыканием. Показано, что пространственно-временную эволюцию вихрей (их перезамыкание) можно описать при помощи уравнения Гинзбурга – Ландау. Однородные граничные условия на торцах цилиндров в течение Куэтта – Тэйлора являются наиболее естественными – интенсивность вихрей у боковых границ из-за условия прилипания и образования экмановского пограничного слоя существенно меньше, чем вдали от них.

Аналогичное воздействие граничных условий на возникающие в системе режимы было обнаружено при расчетах двумерных уравнений Гинзбурга – Ландау с параметрическим возбуждением. Как показали численные расчеты, только при нулевых граничных условиях в системе могут возбуждаться топологические дефекты с ненулевым зарядом. Такие топологические дефекты образуют устойчивые связанные состояния, пространственно-временная динамика которых определяет свойства хаоса.

Публикации

1. Afenchenko V.O., Ezersky A.B., Kiyashko S.V., and Nazarovsky A.V. Bound states of topological defects in parametrically excited capillary waves // The European Physical Journal - Special Topics. 2007. V. 146, N 1. P. 99-110.

2. Nana L., Ezersky A.B., and Mutabazi I. Secondary structures in 1D complex Ginzburg-Landau equation with homogeneous boundary conditions // Phys. Rev. A (submitted).

3. Ezersky A.B. and Nazarovsky A.V. Bound states of topological defects in the system of non-linear coupled Ginzburg-Landau equations // 3rd Int. IEEE Scientific Conf. on Physics and Control (PhysCon 2007), Potsdam, Germany, September 3–7, 2007. Abstract Collection. Universitats verlag, 2007. P. 258.

4. Nazarovsky A., Ezersky A.B., and Mutabazi I. Localized sources in the system of coupled Ginzburg-Landau equations describing wave patterns in resonators // Topical Problems of Nonlinear Wave Physics (Alexander M. Sergeev, ed.). Proc. SPIE. 2006. V. 5975. P. 327-334.

5. Abcha N., Latrache N., Nana L., Ezersky A.B., and Mutabazi I. The velocity behavior in the vicinity of defects in the Couette-Taylor flow // Program of 15th Int. Couette –Taylor workshop, Le Havre University, Le Havre, France, July 9–12, 2007. Paper 1.1.2.

6. Abcha N., Latrache N., Nana L., Ezersky A.B., and Mutabazi I. Dynamique de défauts spatiotemporels dans un motif de spirales de Taylor // 18ème Congrès Français de Mécanique, Grenoble, France, August 27–31, 2007. Paper CFM2007-1201.

3.16. На основе вариационных расчетов проведена идентификация спектров молекулы воды, полученных методом двойного лазерного резонанса. Впервые

определены экспериментальные значения энергетических уровней молекулы воды в ультрафиолетовом диапазоне $27500\text{--}34200\text{ см}^{-1}$. В результате обработки новых экспериментальных данных получена поверхность потенциальной энергии молекулы воды, которая на два порядка улучшила точность расчета уровней в исследованном диапазоне. В результате работы верхняя граница известных уровней H_2O в основном электронном состоянии увеличена с 26000 до 34200 см^{-1} , т.е. до 83 % от энергии диссоциации (около 41000 см^{-1}).

Авторы: Зобов Н.Ф., Ширин С.В., Полянский О.Л. (ИПФ РАН).

Аннотация. Вода, без сомнения, является одной из самых важных молекул во Вселенной, участвуя в большом количестве фотохимических и фотофизических процессов на Земле и других планетах, на солнце, в атмосферах холодных звезд. Как основной поглотитель солнечного излучения водяной пар играет центральную роль в термическом балансе земной атмосферы. Для правильного моделирования атмосферных радиационных процессов необходимо знать спектр поглощения молекулы воды во всем солнечном диапазоне. Как одна из простейших многоатомных молекул, вода является пробным объектом для разработки новых теоретических методов описания молекулярных спектров.

Несмотря на огромный прогресс в молекулярной спектроскопии, наши знания о спектре водяного пара уже 20 лет ограничены видимым диапазоном, и верхней границей по энергии для определенных из эксперимента уровней молекулы воды являлась величина около 26000 см^{-1} . Это было связано с тем, что чувствительности Фурье-спектрометров в УФ диапазоне не хватало для наблюдения слабых переходов водяного пара. В политехническом институте Лозанны (Швейцария) использовали технику двойного лазерного резонанса для наблюдения нескольких сотен переходов в высоковозбужденные колебательно-вращательные состояния H_2O в основном электронном состоянии в диапазоне конечных состояний $27500\text{--}34200\text{ см}^{-1}$. Этот диапазон соответствует так называемой UVA полосе солнечного излучения ($315\text{--}400\text{ нм}$). На более высоких частотах практически все солнечное излучение поглощается за счет электронных переходов озона, водяного пара, кислорода и диоксида углерода. При помощи тройного лазерного резонанса ими также была впервые определена энергия диссоциации молекулы воды – $41145.94 \pm 0.15\text{ см}^{-1}$.

Для экспериментального определения энергии диссоциации потребовалось детальное знание об участвовавших в резонансе уровнях. Анализ же спектральных линий потребовал применения самой передовой теории. Такой теорией оказались разрабатываемые уже более 10 лет в ИПФ РАН вариационные методы расчетов спектров трехатомных молекул.

В основу расчетов были положены набор программ DVR3D (Tennyson J., Kostin M.A., Barletta P., Harris G.J., Polyansky O.L., Ramanlal J., and Zobov N.F. DVR3D: a program suite for the calculation of rotation-vibration spectra of triatomic molecules // Computer Physics Communications. 2004. V.163, N2. P.85–116) и полученная методами квантовой химии высоко точная *ab initio* поверхность потенциальной энергии (Barletta P., Shirin S.V., Zobov N.F., Polyansky O.L., Tennyson J., Valeev E.F., and Császár A.G. The CVRQD *ab initio* ground-state adiabatic potential energy surfaces for the water molecule // J. Chem. Phys. 2006. V. 125, N 1. P. 1-18). Этот *ab initio* потенциал использовался в качестве стартовой точки при обработке новых экспериментальных данных. В результате получена полуэмпирическая поверхность потенциальной энергии молекулы воды, описывающая вновь определенные уровни энергии со стандартным отклонением 0.24 см^{-1} . Это на два порядка лучше, чем предыдущие расчеты. Успехи теории показали, что, используя разработанные методы, возможно идентифицировать экспериментальные переходы вплоть до диссоциации молекулы воды, а также разобраться в природе острых резонансов, лежащих выше энергии диссоциации.

Публикации

1. Maksyutenko , Muentner J.S., Zobov N.F., Shirin S.V., Polyansky O.L., Rizzo T.R., Boyarkin O.V. Approaching the full set of energy levels of water // J. Chem.Phys. 2007. V. 126. Art. no. 241101.

2. Maksyutenko P., Zobov N.F., Shirin S.V., Polyansky O.L., Muentner J.S., Rizzo T.R., and Boyarkin O.V. Approaching the full set of energy levels of water // 20th Colloquium on high resolution molecular spectroscopy, Dijon, France, September 3–7, 2007. Paper O30.