



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ 2015 ГОДА ПО ФИЗИКЕ



Интервью, взятое Новостями Науки (НН) физического факультета МГУ по случаю присуждения Нобелевской премии по физике 2015 г. Такааки Каджите (Япония) и Макдональду (Канада) «за открытие осцилляций нейтрино, подтверждающее наличие у нейтрино ненулевой массы», у профессора кафедры теоретической физики факультета Александра Студеникина (АС), который также является директором Научно-образовательного центра «Лаборатория физики нейтрино и астрофизики имени Б.М.Понтекорво» и членом Научного совета РАН «Физика нейтрино и нейтринная астрофизика»..

СОДЕРЖАНИЕ

- 1 НОВОСТИ НАУКИ
- 20 КОНФЕРЕНЦИИ
- 22 УЧЕННЫЕФИЗФАКАМГУ
- 25 ФИЗФАК — ШКОЛЕ



НН: Шведская королевская академия наук 6 октября объявила о присуждении Нобелевской премии 2015 г. по физике Такааки Каджите (Япония) и Артуру Макдональду (Канада) «за открытие осцилляций нейтрино, подтверждающее наличие у нейтрино ненулевой массы». Что Вы можете сказать о новых лауреатах Нобелевской премии?

АС: Лауреатами стали японец Такааки Каджита (1953 г.р.), который в настоящее время работает в Университете Токио, и канадец Артур Макдональд (1949 г.р.), который в настоящее время работает в Королевском университете Канады.

Оба лауреата — вдохновители двух крупнейших нейтринных коллабораций (экспериментов), коллективы которых впервые безоговорочно подтвердили существование нейтринных осцилляций, на что имелись предварительные указания из результатов ряда предыдущих экспериментов. Т. Каджита является руководителем нейтринного эксперимента Супер-Камиоканде (Super Kamioke) в Японии, в котором впервые в 1998 г. зафиксировали нейтринные осцилляции при детектировании потока атмосферных нейтрино. А. Макдональд руководил экспериментом в Нейтринной обсерватории в Садбери (Sudbery Neutrino Observatory) в Канаде, в котором в 2001 г. было окончательно подтверждено существование нейтринных осцилляций при детектировании потока нейтрино от Солнца.

НН: Что такое осцилляции нейтрино?

АС: Осцилляциями нейтрино — это изменение по гармоническому закону типа нейтрино, т.е., “перетекание” нейтрино одного типа в другой и обратно, при распространении нейтринного пучка от источника к детектору. Напомним, что в природе существуют три различных типа (или т.н. «флейворов») нейтрино: нейтрино электронные, мюонные и тау-нейтрино.

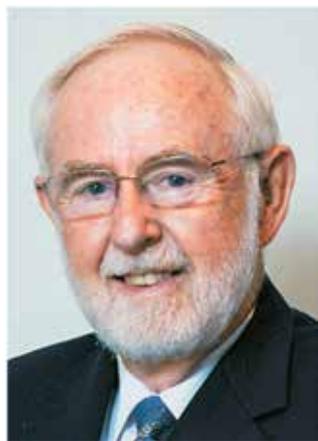
НН: Почему открытие осцилляций нейтрино представляет такой большой интерес?

АС: Экспериментальное доказательство существования нейтринных осцилляций прямо указывает на необходимость выхода за пределы Стандартной теории взаимодействия частиц, которая, если исключить из рассмотрения нейтрино, прекрасно описывает свойства и взаимодействия всех известных в настоящее время элементарных частиц. Сама возможность осцилляций нейтрино критически зависит от величины массы частицы — если бы нейтрино было безмассовой частицей, то осцилляции были бы невозможны.

В Стандартной модели считается, что нейтрино является безмассовой частицей, поэтому осцилляции между различными типами нейтрино отсутствуют. Присуждение Нобелевской премии за осцилляции нейтрино является официальным признанием существования физики за пределами Стандартной модели.



Такааки Каджите



Артур Макдональд

Напомним, что предыдущей из присужденных в области физики элементарных частиц Нобелевской премией 2013 г. были отмечены результаты теоретических исследований британца Питера Хиггса и бельгийца Франсуа Энглера. Лауреаты той премии еще в середине 60-х гг. прошлого века предложили механизм возникновения масс у элементарных частиц и на этой основе предсказали существование новой элементарной частицы — бозона Хиггса. Эту премию присудили после того, как хиггсовский бозон — последняя из элементарных частиц, предсказываемых Стандартной моделью — был обнаружен на Большом адронном коллайдере ЦЕРНа в 2012 г., триумфально увенчав тем самым почти полувековой период в истории физики элементарных частиц, связанный со становлением и развитием Стандартной модели взаимодействия частиц.

НН: В физической литературе часто пишут о «проблеме солнечных нейтрино». Что это за проблема и как она решается?

АС: Нейтрино является поистине уникальной частицей, играющей важнейшую роль во многих явлениях, происходящих в окружающем нас мире. Без нейтрино невозможно объяснить процессы на ранней стадии эволюции Вселенной, остывание звезд. Нейтринное излучение, пронизывающее все пространство вокруг нас на Земле, состоит из четырех основных компонентов. Это, прежде всего, потоки нейтрино рукотворного происхождения: 1) нейтрино от реакторов (реакторные нейтрино) и 2) нейтрино ускорительные (возникающие при взаимодействии элементарных частиц на ускорителях). А также потоки нейтрино природного происхождения: 3) солнечные нейтрино, то есть генерируемые в ядерных реакциях в недрах Солнца и приходящие на Землю, и 4) нейтрино атмосферные, которые возникают при взаимодействии космических лучей с верхними слоями атмосферы.

Кроме того, предсказывается существование потоков геонейтрино (нейтрино, испускаемые ядром Земли), нейтрино от Большого взрыва (реликтовые нейтрино), а также нейтрино галактического и внегалактического происхождения.

Среди четырех основных потоков нейтрино особое место занимают солнечные и атмосферные. Дело в том, что при их изучении обнаруживаются удивительные аномалии — потоки солнечных электронных нейтрино и атмосферных мюонных нейтрино, регистрируемые в земных экспериментальных установках, оказываются значительно ниже,

чем должно быть по теоретическим расчетам в рамках Стандартной модели. Так что принято говорить о существовании «проблемы солнечных нейтрино» и «проблемы атмосферных нейтрино».

Обнаруженные осцилляции нейтрино позволяют дать объяснение проблеме солнечных нейтрино. Схема решения проблемы солнечных нейтрино на основе осцилляций заключается в следующем. Часть из рожденных в ядерных реакциях в недрах Солнца электронных нейтрино на пути к Земле переходят в нейтрино других сортов (преимущественно в мюонные нейтрино, а также в тау-нейтрино). Это приводит к тому, что в детекторе солнечных нейтрино в земной экспериментальной установке обнаруживается меньше электронных нейтрино, а их недостаток обнаруживается как нейтрино других сортов. Таким образом, хотя суммарный поток всех сортов нейтрино остается неизменным, распределение числа нейтрино между различными сортами изменяется за время прохождения частиц из недр Солнца к Земле.

Указанная схема реализуется, если допустить, что нейтрино как частица может иметь двойственную сущность. То есть, имеет место своеобразный дуализм, заключающийся в том, что при рассмотрении физических процессов взаимодействия нейтрино (процессов рождения нейтрино в ядерных реакциях и процессов взаимодействия нейтрино с веществом детекторов) и при рассмотрении распространения нейтрино от источника к детектору следует использовать два различных способа описания этой частицы. При взаимодействии с другими частицами нейтрино проявляет себя как нейтрино определенного сорта, то есть как флейворное нейтрино. При распространении нейтрино в пространстве нужно его описывать как частицу, обладающую определенной массой или в терминах массовых состояний нейтрино.

Свойства нейтрино удивительным образом нарушают наше интуитивное представление об элементарных частицах. Нейтрино может либо принадлежать к конкретному сорту (обладать определенным флейвором), либо обладать определенной массой, но не двумя точными значениями этих характеристик одновременно.

Так как два подхода дают описание одного и того же объекта (нейтрино), то между ними должна быть связь. Эта связь реализуется за счет существования смешивания нейтрино различных типов: каждое из трех флейворных нейтрино является суперпозицией массовых состояний нейтрино, и наоборот, каждое из массовых состояний нейтрино есть суперпозиция флейворных нейтрино. Массовый состав каждого из флейворных нейтрино фиксируется постоянными коэффициентами, которые в настоящее время определяются из экспериментов по осцилляциям нейтрино и которые физики для удобства описания объединяют в так называемую «матрицу смешивания нейтрино».

Для описания распространения рожденного в недрах Солнца потока флейворных (электронных) нейтрино нужно представить их в виде суперпозиции массовых состояний нейтрино. Массовые нейтрино обладают различными массами и поэтому при одинаковой энергии распространяются в пространстве с различной скоростью. В результате различные массовые состояния нейтрино достигнут детектор в разное время. Более тяжелые массовые нейтрино придут в детектор позже более легких. Чтобы провзаимодействовать с веществом детектора, дошедшие до де-

тектора массовые нейтрино должны снова объединиться в нейтрино флейворные. В результате из-за указанного выше запаздывания пришедший пучок нейтрино в детекторе будет иметь отличный от исходного флейворный состав. То есть, будет фиксироваться недостаток электронных нейтрино и появление нейтрино двух других флейворов (мюонных и тау-нейтрино).

Впервые идею смешивания и осцилляций различных типов нейтрино выдвинул Б.М. Понтекоров в 1957 г. Первые эксперименты по регистрации солнечных нейтрино были проведены в 1960-х гг. в эксперименте Homestake (США), который проработал около 25 лет и показал, что регистрируемый им поток электронных нейтрино примерно в три раза меньше теоретических предсказаний на основе стандартной модели Солнца. За эти результаты руководитель эксперимента Рэй Дэвис (США) был удостоен Нобелевской премии по физике за 2002 г. Существенное подавление потока солнечных электронных нейтрино было подтверждено в 90-х годах и другими экспериментами, в частности в российском эксперименте SAGE на Баксане и Gallex (Национальная лаборатория Гран Сассо, Италия). Однако окончательного доказательства существования нейтринных осцилляций данные эксперименты дать не могли, так как в них не регистрировались две другие компоненты нейтринного потока (мюонные и тау-нейтрино), что оставляло возможность объяснить дефицит солнечных электронных нейтрино как результат неправильного теоретического описания процессов генерации нейтрино на Солнце.



Бруно Понтекоров

Коллаборация SNO, которая начала набирать статистику в 1998 г. и представила свои результаты в двух публикациях 2001 и 2002 гг., окончательно подтвердила, что решение проблемы солнечных нейтрино обеспечивается эффектом нейтринных осцилляций. Одновременно с измерением потока электронных нейтрино в эксперименте SNO был померен и полный поток нейтрино, который совпал с тем, что предсказывает солнечная модель. В то же время, эксперимент SNO показал, что электронная компонента, в согласии с ранее выполненными экспериментами, составила всего лишь треть от исходного или суммарного потока нейтрино. Таким образом, именно коллаборация SNO доказала, что куда солнечные нейтрино не потерялись, а просто, родившись в центре Солнца в форме электронных нейтрино, по пути на Землю перешли в нейтрино другого сорта за счет механизма осцилляций.

Коллаборация SNO, которая начала набирать статистику в 1998 г. и представила свои результаты в двух публикациях 2001 и 2002 гг., окончательно подтвердила, что решение проблемы солнечных нейтрино обеспечивается эффектом нейтринных осцилляций. Одновременно с измерением потока электронных нейтрино в эксперименте SNO был померен и полный поток нейтрино, который совпал с тем, что предсказывает солнечная модель. В то же время, эксперимент SNO показал, что электронная компонента, в согласии с ранее выполненными экспериментами, составила всего лишь треть от исходного или суммарного потока нейтрино. Таким образом, именно коллаборация SNO доказала, что куда солнечные нейтрино не потерялись, а просто, родившись в центре Солнца в форме электронных нейтрино, по пути на Землю перешли в нейтрино другого сорта за счет механизма осцилляций.

НН: А как решается «проблема атмосферных нейтрино»?

АС: «Проблема атмосферных нейтрино», по сути, аналогична «проблеме солнечных нейтрино». Здесь также при регистрации в лабораторных экспериментальных установках фиксируется существенный недостаток нейтрино, идущих на Землю от верхних слоев атмосферы. Единственное существенное отличие — речь идет о дефиците мюонных

нейтрино, а не об электронных, как в случае солнечных нейтрино. О возможности решить проблему атмосферных мюонных нейтрино за счет осцилляций нейтрино было заявлено в 1998 г. Т. Каджитой в его выступлении от имени коллаборации Super-Kamiokande на международной конференции по физике и астрофизике нейтрино. В докладе на основе полученных этой коллаборацией данных было также показано, что поток мюонных атмосферных нейтрино, попадающий в детектор кратчайшим путем после пролета расстояния в 10–20 км от верхних слоев атмосферы до Земли (то есть, поток, приходящий в детектор сверху прямо из атмосферы) гораздо больше, чем поток мюонных нейтрино, приходящий в детектор из атмосферы снизу после пролета дополнительного тысячекилометрового пути при распространении сквозь Землю. С учетом того, что для регистрируемых детектором потоки атмосферных электронных нейтрино сверху и снизу были примерно одинаковыми, был сделан вывод, что подавление «нижних» мюонных нейтрино по сравнению с «верхними» мюонными нейтрино вызвано их переходом (за счет явления осцилляций) в тау-нейтрино, которые детектор не отслеживал.

НН: Какие традиции в научно-исследовательской и учебной работе по физике нейтрино существуют на физическом факультете МГУ?

АС: Присуждение Нобелевской премии 2015 г. за открытие осцилляций нейтрино и доказательства факта наличия у нейтрино ненулевой массы подтверждает важность нейтринной тематики в образовательной и научной-исследовательской деятельности, ведущихся на физическом факультете МГУ уже многие годы.

Прежде всего, следует вспомнить, что выдающийся советский ученый итальянского происхождения Бруно Максимович Понтекоров, мировую славу которому принесли его фундаментальные исследования и результаты по физике нейтрино, на протяжении двадцати лет в 1966–1986 гг. возглавлял кафедру физики элементарных частиц физического факультета МГУ и был членом Ученого совета физического факультета. Именно Бруно Понтекоров в своей работе, опубликованной в ЖЭТФ в 1957 г., указал на возможность смешивания и осцилляций нейтрино при условии, что масса нейтрино отлична от нуля. Более того, в 1967 г. Бруно Понтекоров впервые предсказал подавление потока солнечных электронных нейтрино в наземных экспериментах по сравнению с исходным количеством нейтрино, испускаемых Солнцем.

На физическом факультете в настоящее время продолжают заложенные им традиции в проведении научных исследований и обучении студентов по физике нейтрино и смежным вопросам. Почти двадцать лет на кафедре теоретической физики под моим руководством работает группа по теории нейтрино. За это время членами группы было подготовлено 10 кандидатских и три докторских диссертации, посвященных изучению различных аспектов физики массивных нейтрино, включая явления смешивания и осцилляций нейтрино. Особое внимание при этом уделяется изучению электромагнитных свойств нейтрино, которые можно рассматривать как одно из важных следствий ненулевой массы нейтрино. По данной проблеме руководителем нейтринной группы только что в одном из самых высокорейтинговых журналов *Reviews of Modern Physics* опубликована большая статья (C. Giunti, A. Studenikin, *Electromagnetic interactions of neutrinos: a window to new*

physics, *Reviews of Modern Physics*, **87**, 531–603 (2015)), которая содержит фундаментальное и наиболее полное на настоящий момент комплексное исследование проблемы электромагнитных свойств массивных нейтрино.

Для студентов бакалавриата и магистратуры физического факультета читаются курсы (на английском языке) по физике нейтрино. С этого года также читается и межкаультетский курс по физике нейтрино для студентов других факультетов. По приказу ректора и декана проводятся ежегодные Международные школы по физике нейтрино и астрофизике. Вопросы физики нейтрино составляют значительную часть научной программы проводящихся в МГУ

по нечетным годам международных Ломоносовских конференций по физике элементарных частиц. Координация учебной и научно-исследовательской работы осуществляется по программе Научно-образовательного центра «Лаборатория физики нейтрино и астрофизики имени Б.М. Понтекорво».

В заключение отмечу, что присуждение Нобелевской премии по физике в 2015 г. за открытие осцилляций нейтрино требует от нас дальнейшей концентрации усилий в совершенствовании образовательного процесса и развития научных исследований по физике нейтрино в МГУ.



МГУ ДО СИХ ПОР ОСТАЕТСЯ ЕДИНСТВЕННЫМ РОССИЙСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ, ВОШЕДШИМ В ТОП-200 ЛУЧШИХ ВУЗОВ МИРА

15 сентября 2015 года опубликован новый глобальный рейтинг вузов QS World University Rankings «Рейтинг мировых университетов». МГУ в этом году прибавил шесть позиций и занял 108-е место.

2015 год оказался успешным для МГУ имени М.В. Ломоносова — по трем из шести критериев оценки университет приблизился или вошел в топ-100: репутация в академической среде (88 место), репутация вуза среди работодателей (103 место) и отношение количества преподавателей к студентам (29 место). По версии представителей британской консалтинговой компании Quacquarelli Symonds (QS), высокие показатели по этим критериям помогли МГУ вы-

расти в рейтинге и позволяют прогнозировать попадание университета в топ-100 в ближайшие пару лет.

При создании рейтинга авторы использовали шесть критериев: авторитетность в академической среде, соотношение профессорско-преподавательского состава к числу студентов, репутация среди работодателей, индекс цитируемости, доля иностранных преподавателей и студентов.



МГУ УВЕРЕННО ВХОДИТ В ТОП-100 ЛУЧШИХ ВУЗОВ МИРА

МГУ входит в топ-100 лучших вузов мира по физическим наукам, инженерингу, искусству и гуманитарным наукам и наукам о жизни по версии ведущего рейтингового агентства Times Higher Education.

МГУ занимает 59 место в области «Физические науки», 65 место в области «Инженеринг и технологии», 84 место в области «Искусство и гуманитарные науки» и 95 место в области «Науки о жизни».

МГУ — единственный вуз России, представленный в рейтинге в областях «Инженеринг и технологии», «Искусство и гуманитарные науки», «Науки о жизни».

«МГУ снова вошел в лидирующую группу мировых университетов. Это результат наших фундаментальных научных исследований, в том числе работы междисциплинарных выдающихся научных школ. Это еще раз подтверждает, что будущее лидерство в технологиях обеспечат именно

фундаментальные науки, — прокомментировал новость ректор МГУ академик Виктор Антонович Садовничий.

Рейтинг строится на основе 13 показателей мирового рейтинга Times Higher Education World University Rankings 2015–2016, сгруппированных в пять категорий: образование, научно-исследовательская работа, цитируемость, интернационализация, инновации, использующих уникальные весовые коэффициенты для каждой из специальностей рейтинга.

МГУ занял 3 место в рейтинге университетов стран БРИКС и стран с развивающейся экономикой по версии THE

МГУ имени М.В. Ломоносова занял третье место в рейтинге лучших университетов стран БРИКС и стран с развивающейся экономикой по версии ведущего мирового агентства Times Higher Education, который вышел 3 дека-

бря 2015 года. В этом году Times Higher Education значительно расширил список исследуемых стран (с 22 до 48) и вдвое увеличил количество ранжируемых университетов, доведя общее количество вузов до 200.

СТАБИЛИЗАТОРЫ ЭМУЛЬСИЙ

Сотрудники кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ совместно с коллегами из Института физической химии Технического университета Аахена, Германия (IPC RWTH Aachen) впервые провели комплексное исследование (компьютерное моделирование и эксперимент) перспективных термочувствительных коллоидных частиц на основе полимерных микрогелей, локализованных на межфазной границе двух несовместимых жидкостей.



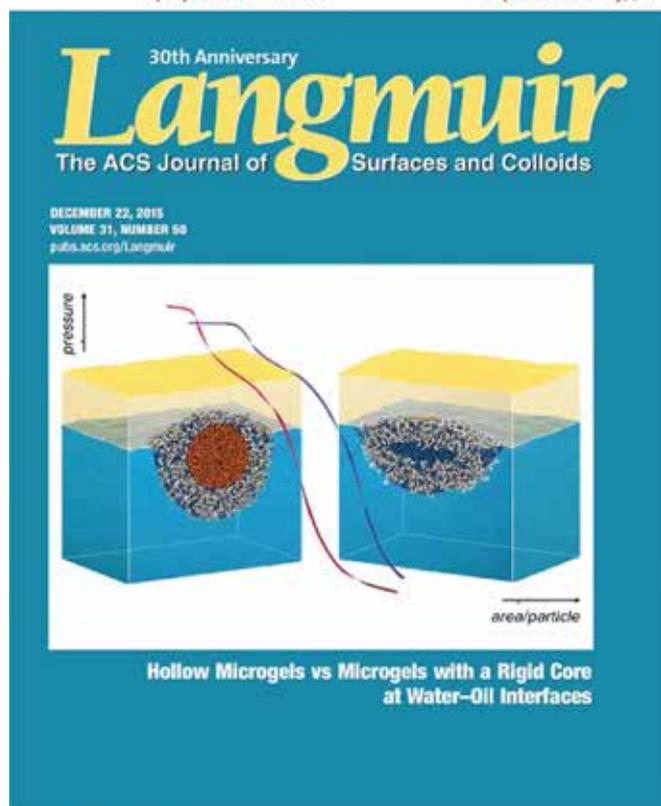
Проф. И.И. Потемкин

к.ф.-м.н. А.А. Рудов

Хорошо известно, что твердые нано- и микрочастицы (например, оксид кремния) используются для стабилизации эмульсий типа вода–масло (так называемые эмульсии Пикеринга). При этом частицы адсорбируются на межфазную границу, существенно уменьшая ее поверхностную энергию. Стабильность эмульсий, а также радиус кривизны формирующихся капель (для нейтральных частиц), определяется коэффициентами поверхностного натяжения (контактным углом), контролирующими глубину погружения частиц в каждую из жидкостей, радиусом наночастиц, а также их шероховатостью. Как правило, твердые частицы практически не чувствительны к внешним воздействиям и, будучи адсорбированными на границе, их сложно десорбировать и контролировать размер капель эмульсии. Другим недостатком является слабая проницаемость границ для веществ, растворенных в эмульсии (если поверхностная плотность частиц достаточно велика).

Использование нано- и микрогелей в качестве стабилизаторов эмульсий является новым перспективным подходом, который позволяет создавать чувствительные к внешним воздействиям эмульсии с проницаемыми межфазными границами. Нано- и микрогели — «мягкие» коллоидные частицы сетчатой структуры, состоящей из химически сшитых полимерных цепей. Состав, размер, морфологию и восприимчивость таких частиц можно варьировать в широких пределах в зависимости от области применения. Они, как правило, обладают высокой чувствительностью к внешним воздействиям (T , $h\nu$, pH и др.), способностью набухать в растворителях и абсорбировать различные вещества.

В данной работе было проанализировано поведение термочувствительных микрогелей ($pNIPAm$) с различной внутренней структурой на межфазной границе вода–масло, используя методы Ленгмюра–Блоджетт и диссипативной динамики частиц компьютерного моделирования. Были изучены частицы, у которых твердое ядро оксида кремния окружено «мягкой» оболочкой микрогеля (CS частицы) и полые микрогели (HS частицы), см. рисунок. При комнатной температуре вода является хорошим растворителем для микрогелей, в то время как масло — плохим. Поэтому при адсорбции на межфазную границу, большая часть частиц погружена в водную фазу, меньшая — в масло. Было



изучено, как изменение температуры в системе влияет на изменение структуры и формы микрогелей. В частности было показано, что все микрогели деформируются на межфазной границе, причем наибольшее «растекание» по поверхности демонстрируют полые (HS) микрогели, см. рисунок. Наличие твердой наночастицы в микрогеле придает ему дополнительную жесткость, что хорошо видно на изотермах сжатия и подтверждается в моделировании, см. рисунок. Интересным предсказанием является то, что полость внутри HS микрогеля, адсорбированного на межфазной границе, не схлопывается ни при низких, ни при высоких температурах и остается заполненной водой.

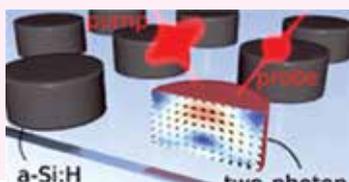
Полученные результаты имеют важное практическое значение для создания эмульсий, чувствительных к внешним воздействиям. Способность управлять набуханием и деформацией микрогелей на межфазных границах позволяет изменять кривизну межфазной границы или

десорбировать частицы и тем самым контролируемым образом разрушать, стабилизировать или инвертировать эмульсию не изменяя состав исходной смеси.

Компьютерное моделирование проводилось на суперкомпьютере "Ломоносов", МГУ.

Результаты исследования опубликованы в статье: K. Geisel, A.A. Rudov, I.I. Potemkin, W. Richtering. "Hollow core-shell microgels at oil-water interfaces: Spreading of soft particles reduces the compressibility of the monolayer", *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids*, **31**, 13145–13154 (2015) и представлены на обложке журнала *Langmuir*, см. рисунок.

СВЕРХБЫСТРЫЙ ФОТОННЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ НА КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУРАХ



Группа проф. Андрея Федянина (физфак МГУ) и группа проф. Юрия Кившаря (Австралийский национальный университет)

Исследователи из МГУ имени М.В. Ломоносова в составе международной группы создали сверхбыстрый фотонный переключатель, работающий на кремниевых наноструктурах. Это устройство может стать основой компьютеров будущего и позволить передавать данные с огромной скоростью.



Н.с. М.Р. Щербаков



Проф. А.А. Федянин
(Кафедра квантовой электроники)



М.н.с. П.П. Вабищевич



Асп. А.С. Шорохов

Данная разработка относится к фотонике — научной дисциплине, которая появилась в шестидесятых годах прошлого века одновременно с появлением лазеров. Основная идея фотоники — сделать то же, что делает электроника, но с заменой электронов на кванты света, фотоны. Главное их преимущество в том, что они практически не взаимодействуют друг с другом и со средой, в которой распространяются, и потому более предпочтительны для передачи информации, чем электроны. Это в первую очередь может быть использовано в компьютерах, для которых главным показателем является быстродействие. Но в то время, как основа современных электронных устройств — транзисторы — имеют характерные размеры менее ста нанометров, размеры прототипов оптических транзисторов остались на масштабах в несколько микрометров. Структуры же, способные в этом смысле конкурировать с электроникой, такие, как плазмонные наночастицы, отличались низкой эффективностью и большими потерями. Так что ситуация с компактностью для фотонных схем представлялась тупиковой.

Но три года назад исследователи одновременно из нескольких научных групп наткнулись на важный эффект: в наночастицах кремния были обнаружены сильные резонансы в видимой области спектра, так называемые магнитные дипольные резонансы. Данный резонанс характеризуется сильной локализацией световых волн на субволновых масштабах внутри наночастиц. Эффект заинтересовал многих исследователей, однако, по словам Максима Щербакова, первого автора статьи в *Nano Letters*, никто почему-то не подумал о том, что это открытие может лечь в основу компактного и очень быстрого фотонного переключателя.

Наночастицы удалось изготовить в Австралийском национальном университете методом электронно-лучевой литографии с последующим плазменным травлением. Это было сделано аспирантом Александром Шороховым, который проходил там стажировку в рамках стипендии Президента РФ. Полученные образцы были направлены в Москву, и все последующие эксперименты с ними проводились на физическом факультете МГУ в лаборатории нанооптики и метаматериалов.

«В своих экспериментальных исследованиях мы с моей коллегой Полиной Вабищевиц, сотрудницей физического факультета МГУ, использовали большой набор различных нелинейно-оптических методик, связанных со взаимодействием фемтосекундных лазерных импульсов с веществом, — пояснил Максим Щербаков. — Нами использовался фемтосекундный лазерный комплекс, приобретенный по программе развития МГУ.

В конечном итоге исследователями был получен прибор, представляющий собой диск диаметром в 250 нанометров, способный переключать оптические импульсы за время, исчисляемое фемтосекундами (фемтосекунда представляет собой одну миллионную долю от одной миллиардной доли секунды). Такое время срабатывания позволяет в перспективе создавать устройства передачи и обработки информации на скоростях в десятки и сотни терабит в секунду. Подобная скорость позволила бы скачивать тысячи художественных фильмов высокого качества за одну секунду. Работа созданного учеными МГУ фотонного переключателя сводится к отправке на него двух лазерных импульсов, которые, благодаря наличию у кремниевых наночастиц магнитных резонансов, очень хорошо друг с другом взаимодействуют. Если эти импульсы приходят одновременно, то один них, управляющий, вступает во взаимодействие со вторым и гасит его за счет эффекта

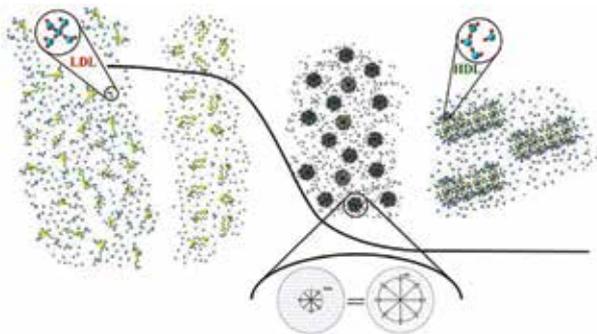
двухфотонного поглощения. Если же импульсы приходят с разрывом во времени всего в сто фемтосекунд, взаимодействия не происходит, и второй импульс проходит через наноструктуру, не изменяясь.

«Нам удалось разработать структуру, в которой также сведена на «нет» роль свободных носителей, — отметил Максим Щербаков. — Свободные носители — то есть электроны и дырки — в устройствах интегральной фотоники традиционно накладывают серьезные ограничения на скорости преобразования сигналов. Наша работа представляет собой важный шаг для развития активных устройств фотоники — логических элементов, транзисторов и т.п. Особенности технологии, примененной нами в нашей разработке, позволят уже сейчас использовать ее в схемах кремниевой интегральной фотоники. В ближайшей перспективе мы намерены осуществить проверку таких наночастиц в интегральном исполнении».

Результаты данной работы были опубликованы в статье: M.R. Scherbakov, P.P. Vabishchevich, A.S. Shorokhov, K.E. Ching, D.-Y. Choi, I. Staude, A.E. Miroshnichenko, D.N. Neshev, A.A. Fedyanin, and Yu.S. Kivshar, "Ultrafast all-optical switching with magnetic resonances in nonlinear dielectric nanostructures", *Nano Letters* **15**, 6985 (2015).



ПОЛИМОРФНЫЙ ПЕРЕХОД ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ И САМООРГАНИЗАЦИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ИОННЫХ СУРФАКТАНТОВ



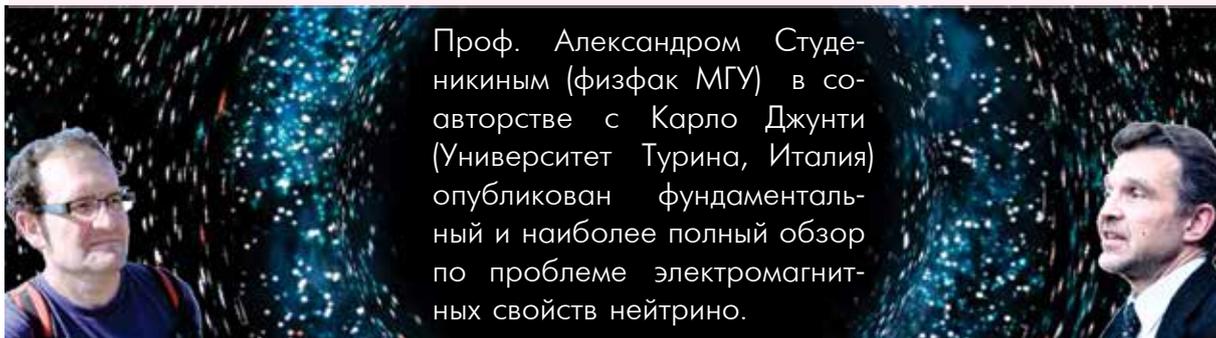
Аморфный полиморфизм является ключевым в современном понимании структуры, физических свойств, аномалий воды. Основная идея этой концепции заключается в том, что жидкая вода при обычных условиях (со средней плотностью 1.00 г/см^3) постоянно флуктуирует между кластерами размером 1 нм с низкой (LDL, 0.94 г/см^3) и высокой (HDL, 1.14 г/см^3) плотностью. Кластеры не могут быть выделены из воды при обычных температурах, но при температуре ниже 233 К между ними возможно фазовое разделение. Полиаморфные переходы интенсивно изучаются в переохлажденной воде, пористых телах, растворах полиолов и белков. Авторами данного исследования теоретически обоснован и экспериментально идентифицирован полиморфный переход $LDL \leftrightarrow HDL$, сопровождающий мицеллообразование сурфактантов в воде. Исследована

С.н.с. Т.А. Доленко (каф. квантовой электроники) совместно с проф. Ю.А. Миргородом (Юго-Западный гос. университет, г. Курск) теоретически и экспериментально обосновали существование полиморфного перехода жидкость-жидкость при мицеллообразовании углеводов в воде.

зависимость интенсивности полиморфного перехода от концентрации и размеров молекул углеводов и сурфактантов. С точки зрения существования полиморфного перехода жидкость-жидкость объяснены бистабильность и автоколебания мицелл в воде, кооперативный эффект и закономерности энтальпии и энтропии при самоорганизации молекул сурфактантов. Предложены технологии синтеза наночастиц, основанные на свойствах полиаморфных переходов при мицеллообразовании.

Результаты исследований опубликованы в статье: Yu.A. Mirgorod, T.A. Dolenko, "Liquid polyamorphous transition and self-organization in aqueous solutions of ionic surfactants", *Langmuir* **31**, 8535–8547 (2015).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРИНО: ОКНО В НОВУЮ ФИЗИКУ



Проф. Карло Джунти

«Электромагнитные взаимодействия нейтрино: окно в новую физику» — это название новой статьи, написанной Александром Студеникиным в соавторстве с Карло Джунти из Национального института ядерной физики и университета Турина (Италия) и опубликованной в журнале *Reviews of Modern Physics*, vol. 87, 531–591 (2015). Эта статья содержит фундаментальный и наиболее полный обзор по проблеме электромагнитных свойств нейтрино, включая как теоретический, так и экспериментальный аспекты, а также феноменологические приложения в астрофизике.

После экспериментального подтверждения наличия у нейтрино ненулевой массы, изучения электромагнитных свойств данной частицы приобретает повышенное внимание как способ проверки Стандартной модели взаимодействия частиц, так и как возможный предвестник «новой физики». Вводная часть статьи посвящена изложению основ физики массивного нейтрино. Далее в статье подробно обсуждается современное состояние исследований проблемы электромагнитных свойств нейтрино, возможности использования экспериментальных ограничений статических электромагнитных характеристик ней-

Проф. Александр Студеникин

трино (магнитного момента, миллиарда и зарядового радиуса) для получения информации о «новой физике» за пределами Стандартной модели. Важное место в статье занимает рассмотрение вопросов поведения (движения и взаимодействия с другими частицами) «электромагнитных» нейтрино во внешних магнитных полях, включая различные проявления взаимодействий нейтрино в сильных магнитных полях нейтринных звезд и в других астрофизических условиях. Главным итогом данной работы является убедительное доказательство важности проблемы электромагнитных свойств нейтрино как для современной физики элементарных частиц, так и для астрофизики.

Публикация данной обзорной статьи в наиболее престижном международном физическом журнале является одним из важных достижений группы по теории нейтрино, которая многие годы работает на физическом факультете МГУ под руководством профессора А.И.Студеникина.

Работа опубликована в журнале: *Reviews of Modern Physics*, vol. **87**, 531–591 (2015).

ПОЧЕМУ У САТУРНА ЕСТЬ КОЛЬЦА, А У ДРУГИХ ПЛАНЕТ ИХ НЕТ?



Физики МГУ в коллаборации со своими коллегами из Univ. of Leicester (Великобритания), Boston Univ. (США), Univ. of Potsdam (ФРГ), Kyoto Univ. (Япония), and Univ. of Oulu (Финляндия) продемонстрировали, что степенная зависимость распределения размера частиц в с отсечением по большим размерам, что и наблюдается в кольцах Сатурна, является универсальной для систем, в которых постоянно поддерживается баланс между агрегацией частиц и разрушающими столкновениями.

Интересный вопрос — почему вокруг одних планет, как, например, у Сатурна, появляются кольца, а у других, у тех же, скажем, Земли или Марса, этих колец нет? Как оказалось, размер планеты роли здесь не играет. Кольца обнаружены и у гигантов, и даже у астероидов. Пример последних — астероид Харикло, с диаметром примерно в 260 км, у которого в прошлом году космический телескоп Spitzer обнаружил сразу два кольца.

На этот вопрос ответ, хотя бы приблизительный, имеется: около одних планет исторически оказалось мало пыли, а около других — много. Пылинки собирались вместе, образовывали частицы, которые продолжали расти, и становились все больше и больше, что, конечно, понятно. Но, почему же, рост частиц внезапно останавливался, когда они достигали размера с дом? Это оставалось загадкой. Более того, само распределение частиц по размерам следовало красивому математическому закону «обратных кубов», что означает, например, что частиц размером 2 метра в 8 раз меньше, чем последних размером 1 метр, размером в 3 метра — меньше в 27 раз и т. д. Природа такого закона также представлялась загадочной. Международная группа исследователей, в которую входят четверо россиян — выпускник МГУ имени М.В. Ломоносова Николай Бриллиантов (профессор Лестерского Университета, Великобритания), Павел Крапивский (профессор Бостонского Университета, США), а также научные сотрудники кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Анна Бодрова и Владимир Стадничук — внесли, наконец, ясность в этот вопрос, изучив распределение частиц по размерам в кольцах Сатурна. В ходе работы исследователи показали, что наблюдаемое распределение имеет универсальный характер, то есть, свойственно всем кольцам, возникающим у небесных тел, частицы которых имеют схожую природу. Более того, ученым удалось разгадать загадку «магического» закона «обратных кубов». Соответствующая статья коллектива авторов, в который входят профессора Франк Шпан (Университет Потсдама, Германия), Юрген Шмидт (Университет Оу-лу, Финляндия) и Хисао Хаякава (Университет Ки-

ото, Япония) опубликована в журнале Proceedings of the National Academy of Science).

Кольца Сатурна представляют собой величественное зрелище. Они состоят, в основном, из ледяных крошек, с небольшим вкраплением минеральных веществ и простираются на сотни тысяч километров. При этом, «толщина колец», то есть, их размер в другом, перпендикулярном направлении, всего лишь 10–100 метров! В этом смысле кольца Сатурна в миллионы раз «тоньше» самой острой бритвы. Кроме того, вся эта ледяная масса несется вокруг Сатурна с колоссальной скоростью, 72 000 километров в час. Это, так называемая, орбитальная скорость, с которой частицы движутся как единое целое. Тем не менее скорости индивидуальных частиц все-таки немного отличаются от этой средней скорости, но, в среднем, эти отклонения ничтожны — порядка нескольких метров в час! Когда частицы подлетают друг другу на таких маленьких скоростях, они соединяются и уже не могут снова разлететься из-за поверхностных сил — эффект, подобный тому, как слипаются два снежка, если их с силой соединить вместе. Такой процесс слипания частиц происходит постоянно. Однако, существует и противоположный процесс разрушения частиц при столкновениях. Дело в том, что у очень небольшой доли частиц отклонения от средней скорости весьма значительны. Если такая «быстрая» частица врежется в свою «соседку», то обе рассыпаются на мелкие кусочки. Это происходит очень редко, но, в конечном счете, устанавливается баланс между объединением частиц и их распадом.

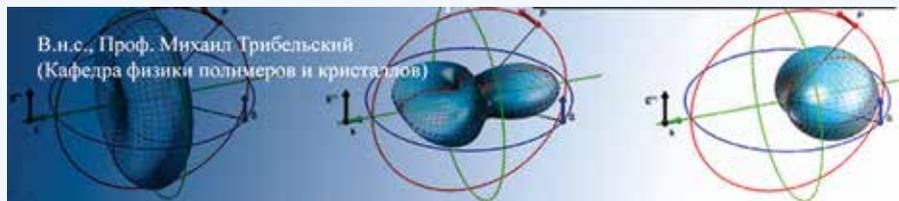
Ученые построили математическую модель этих процессов, которую исследовали различными методами, в том числе, проводя численное решение огромного числа дифференциальных уравнений. Это можно было сделать только на суперкомпьютере. В результате был задействован суперкомпьютер МГУ «Чебышев». Данная часть работы была выполнена московскими коллегами научной группы. Ученые объяснили как и отсутствие в кольцах Сатурна частиц больше определенного размера, так и загадочный закон «обратных кубов». Более того, из полученной модели следовал и такой важный вывод, что указанные

закономерности должны наблюдаться для всех колец, будь это кольцо планеты или астероида. По словам исследователей, как, в частности, пояснила Анна Бодрова из МГУ, эта универсальность представляет собой лишь хорошо обоснованное предположение. Для того чтобы его подтвердить или опровергнуть, требуются дальнейшие исследования других колец. Указанная работа позволяет сделать целый ряд других научных выводов: например, о механизме формирования колец и их эволюции. В частности, результаты ученых говорят о том, что кольца Сатурна пребывают в стационарном состоянии. Это означает, что динозавры наблюдали (если бы могли наблюдать) те же кольца, что и мы с вами наблюдаем сейчас. Те же кольца будут наблюдать наши потомки. Более того, так как характерное время изменения колец под влиянием каких-либо внешних воздействий не превышает 10 000 лет (это тоже следует из модели), ничего катастрофического не происходило с кольцами со времен бронзового века.

В свое время лауреат нобелевской премии академик Петр Капица заметил, что «нет ничего практичнее хорошей теории». Это в полной мере относится и к данной работе. Исследователи разработали весьма универсальный математический аппарат, который может быть без труда применен к самым разным системам как в природе, так и в индустрии. Везде, где имеется система частиц, которые могут слипаться при соударениях с малыми скоростями и разрушаться на мелкие осколки при больших скоростях, будет наблюдаться распределение частиц по размерам, следующее «магическому» закону обратных кубов.

Результаты этой работы опубликованы в статье: N. Brilliantov, P.L. Krapivsky, A. Bodrova, F. Spahn, H. Hayakawa, V. Stadnichuk, and J. Schmidt, "Size distribution of particles in Saturn's rings from aggregation and fragmentation", Proc. of the National Academy of Sciences **112** (31), 9536–9541 (2015).

МАЛЕНЬКИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СФЕРЫ С БОЛЬШИМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ — НОВЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ



Учеными физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в сотрудничестве с коллегами из Института Френеля, Франция и Университета Кантабрии, Испания открыта возможность использования сферических частиц диэлектрика с большой диэлектрической проницаемостью в качестве многофункциональных элементов оптических устройств

Будущее ультра-быстрых оптических систем связи связано с прогрессом в области создания новых оптических схем и наноприборов. Одним из ключевых моментов здесь является создание элементарных составляющих оптических приборов, способных перераспределять падающий свет в желаемом направлении.

В данной работе теоретически и экспериментально показано, что пространственно-однородная диэлектрическая сфера субволновых размеров с высоким показателем преломления и низкими потерями демонстрирует свойства, позволяющие использовать ее в качестве нового многофункционального

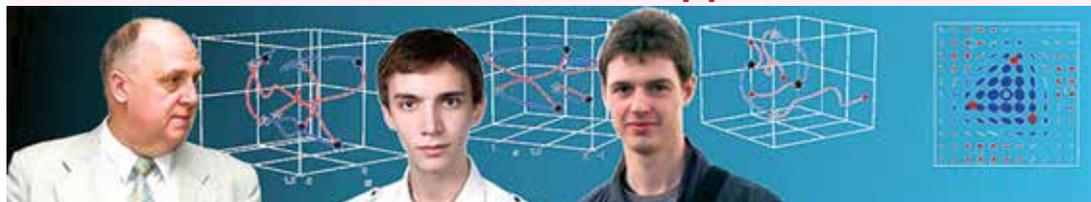
элемента таких устройств. Многофункциональность достигается за счет изменения в широких пределах диаграммы рассеяния таких частиц. Последнее, в свою очередь, реализуется за счет селективного резонансного возбуждения дипольных и квадрупольных мод и их когерентного взаимодействия. Существенно, что возбуждение происходит обычной плоской электромагнитной волной, а изменение диаграммы рассеяния — за счет сравнительно малого (в пределах 30–40 %) изменения ее частоты.

Наночастицы с требуемыми оптическими свойствами в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне

могут быть легко изготовлены из обычных, широко применяемых полупроводников (кремний, германий, фосфат галлия и др.). Такие частицы могут быть эффективной альтернативой широко обсуждаемым оптическим элементам более сложной структуры.

Результаты данного исследования были опубликованы в статье: Michael I. Tribelsky, Jean-Michel Geffrin, Amelie Litman, Christelle Eyraud, and Fernando Moreno, Small Dielectric Spheres with High Refractive Index as New Multifunctional Elements for Optical Devices. *Sci. Rep.* **5**, 12288 (2015).

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИНГУЛЯРНОСТЕЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ



Физики МГУ (проф. В.А. Макаров, асп. К.С. Григорьев и н.с. И.А. Пережогин, кафедра общей физики и волновых процессов физфака МГУ и МЛЦ МГУ) теоретически исследовали преобразование сингулярностей поляризации световых пучков при генерации суммарной частоты в объеме изотропной среды с пространственной дисперсией оптического отклика.

Физики МГУ исследовали сингулярности поляризации световых пучков при генерации суммарной частоты в изотропной среде с дисперсией оптического отклика.

Сингулярная оптика, зародившаяся на рубеже 80-х годов XX века, исследует тонкую структуру светового поля — геометрические каустики, фазовые дислокации, в которых

обращается в нуль его интенсивность, и поляризационные сингулярности или С-точки, в которых эллипс поляризации вырождается в окружность. Описаны многочисленные

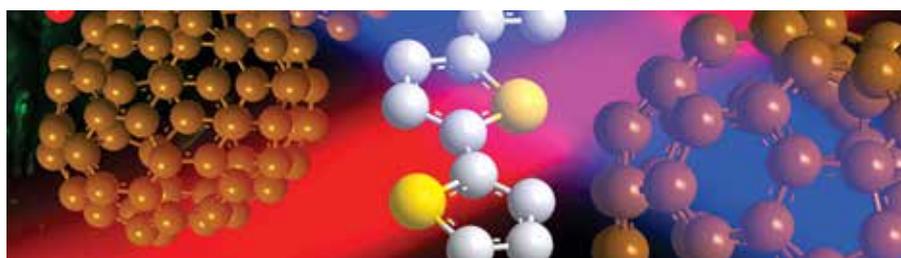
способы искусственного создания сингулярных световых пучков с заданными характеристиками, разрабатываются все более точные методы детектирования оптических сингулярностей. Основные понятия сингулярной оптики обобщаются для случая импульсных электромагнитных пучков, в том числе фемтосекундного диапазона.

Интерес к оптическим сингулярностям естественным образом проник в нелинейную оптику, несмотря на резко возрастающую сложность теоретических исследований. Как правило, авторы рассматривают нелинейное взаимодействие волн без учета изменения их поляризации, тем самым ограничиваясь случаем фазовых сингулярностей, иначе называемых оптическими вихрями. Однако, проведенные ранее исследования, принципиальным моментом которых был учет векторной структуры поля светового пучка и его продольной составляющей, показали, что даже в изотропной среде с пространственной дисперсией нелинейности возможна генерация сильно неоднородно поляризованных пучков, содержащих поляризационные сингулярности. В настоящем исследовании впервые

установлены основные закономерности преобразования топологических характеристик излучения, изначально содержащего сингулярности поляризации, в процессах трехволнового смешения в изотропной нелокальной среде. Аналитически показано, что изменяя топологические характеристики сингулярностей в пучках основного излучения, можно управлять количеством и структурой С-линий в сигнальном пучке, а также процессами рождения и уничтожения С-точек. Выявлена определяющая роль топологического заряда исходной сингулярности в формировании пространственной структуры сигнального пучка с тем или иным суммарным топологическим зарядом.

Результаты исследований опубликованы в статье: K.S. Grigoriev, V.A. Makarov and I.A. Perezhogin, "Polarization singularities in a sum-frequency light beam generated by a bichromatic singular beam in the bulk of an isotropic nonlinear chiral medium", *Phys. Rev. A* **92**, 023814 (2015).

СВЕРХБЫСТРАЯ ДИНАМИКА ЗАРЯДОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТАХ



Физиками МГУ (группа проф. Д.Ю. Парашука) совместно с российскими и зарубежными коллегами исследованы процессы генерации зарядов в органических солнечных фотоэлементах на основе новых материалов.

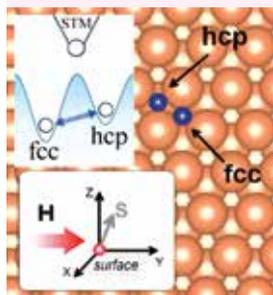
Органические солнечные батареи (ОСБ) выступают перспективной и стремительно развивающейся альтернативой традиционным кремниевым фотоэлементам, благодаря их уникальным свойствам (гибкость, легкость, полупрозрачность), простоте производства и потенциально низкой цене. Так как органические материалы обладают относительно низкой диэлектрической проницаемостью, при фотовозбуждении в них образуется связанный экситон Френкеля. Для разделения экситонов на свободные заряды в качестве активного слоя в ОСБ используется гетеропереход — смесь донорного и акцепторного веществ с разными положениями энергетических уровней. Таким образом, генерация свободных зарядов в ОСБ — это сложный и многоступенчатый процесс, происходящий на субнаносекундной временной шкале, и любые потери фотонов и/или зарядов на этих временах приведут в конечном итоге к падению эффективности фотоэлемента. Поэтому, для достижения высоких эффективностей, необходимо глубокое понимание процессов генерации зарядов и их связи с молекулярной архитектурой используемых материалов.

Исследователи физфака МГУ совместно с коллегами из Института Синтетических Полимерных Материалов РАН, Университета Монса и Института Передовых Материалов им. Цернике (Университет Гронингена, Нидерланды) показали, что сверхбыстрая спектроскопия служит

уникальным методом для изучения процессов генерации и рекомбинации зарядов в активном слое солнечного фотоэлемента. В качестве модельной системы использовалась смесь ряда новых перспективных низкомолекулярных донорных веществ с фуллереновым акцептором [70]PCBM. Динамика зарядов изучалась методом времязрешенной спектроскопии фотоиндуцированного поглощения (ФИП) со сверхвысоким временным разрешением (<100 фемтосекунд). Было выяснено, что заряды генерируются как после фотовозбуждения донорной молекулы, так и фуллеренового акцептора. На эффективность этого процесса влияют как химическая структура используемых молекул, так и относительные концентрации донора и акцептора в смеси. Результаты работы, в более широком контексте, показывают потенциал сверхбыстрой спектроскопии как с фундаментальной точки зрения (изучения процессов динамики зарядов), так и с прикладной (предоставление важной информации для синтеза новых молекул и оптимизации устройств).

Результаты исследований опубликованы в статье O. Kozlov et al., "Ultrafast Charge Generation Pathways in Photovoltaic Blends Based on Novel Star-Shaped Conjugated Molecules," *Adv. Energy Mater.* **5** (7), 1401657 (2015) и представлены на обложке журнала.

НОВЫЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ АТОМАМИ КАК ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ



Совместные исследования физиков МГУ и Института физики микроструктур им. М. Планка (Германия) привели к разработке нового метода управления динамикой и отбором финитных состояний спина атома, расположенного на металлической поверхности.



Ст. преп. Олег Поляков
(каф. общей физики)

Элементы памяти и логические схемы, сформированные из отдельных атомов — идея, давно вдохновлявшая умы не только футурологов, но и ученых, инженеров, технологов. К сожалению, оборотной стороной поистине фантастических свойств и характеристик, ожидаемых у подобных устройств, является их высокая чувствительность к малейшим флуктуациям параметров внешней среды, что делает их динамику трудно прогнозируемой. Поэтому поиск механизмов управления системами подобного рода, корректных с позиции фундаментальных законов микромира и при этом реализуемых в рамках существующих технологий, входит в группу наиболее актуальных задач современной науки.

Применение магнитного поля — основного инструмента манипулирования магнитными свойствами материалов, хорошо себя зарекомендовавшего у технологов, в данных системах является неудобным и малоэффективным в силу его нелокальности на атомарном масштабе. Данного недостатка лишено электрическое поле, степень локализации которого может быть весьма высока, например,

при использовании сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Электрическое поле иглы СТМ способно привести к локальному изменению некоторых физических свойств системы «атом–подложка», в частности, поля кристаллической анизотропии, а также вероятности туннелирования атома. В этом случае влияние магнитного поля на атомы системы будет различным, в зависимости от того находятся они под воздействием электрического поля или нет.

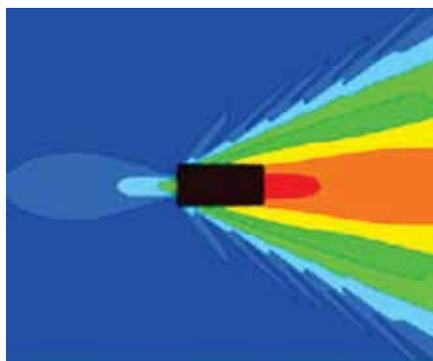
Таким образом, совместное воздействие магнитного и электрического полей, можно использовать для избирательного переключения между финитными спиновыми состояниями отдельных атомов, что в свою очередь способно открыть новые горизонты в области разработки методик записи информации в системах атомарного масштаба.

Результаты исследований опубликованы в статье: O.P. Polyakov and V.S. Stepanyuk, "Tuning an atomic switch on a surface with electric and magnetic fields," J. of Phys. Chem. Lett. **6**, 3698–3701 (2015).

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОТЯЖЕННЫМИ ГАЗОВЫМИ СРЕДАМИ



Проф. Анатолий Андреев
(каф. общей физики и волновых процессов и каф. оптики и спектроскопии и физики наносистем)



Доц. Сергей Стремоухов
(каф. общей физики и волновых процессов и каф. оптики и спектроскопии и физики наносистем)

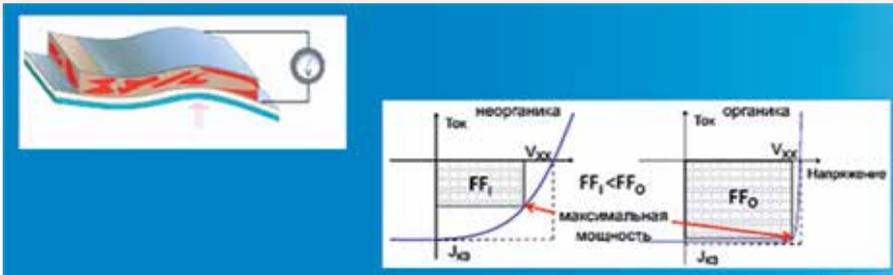
Учеными физфака МГУ исследовано частотно-угловое распределение THz излучения, полученного в результате облучения протяженных газовых сред двухчастотными лазерными полями в доионизационном режиме взаимодействия.

С использованием уникального непertурбативного квантово-механического подхода к описанию взаимодействия произвольно поляризованного излучения с одиночным атомом была исследована эффективность генерации терагерцового (ТГц) излучения атомами Ag и Ne, взаимодействующими с двухчастотными $\omega+2\omega$ лазерными импульсами Ti:Sa и Cr:F лазеров, при изменении временной задержки между импульсами с аттосекундным разрешением. Показано, что независимо от типа атома, относительной поляризации компонент поля и длин волн падающего излучения, эта зависимость имеет осциллирующий характер с периодом, равным половине периода осцилляций поля второй гармоники (2ω). Учитывая дисперсию газовой среды, осцилляторная зависимость от времени может быть преобразована в зависимость от координаты положения атома в среде. В предположении, что все атомы среды излучают независимо, а также учитывая пространственное распределение интенсивности лазерного поля, мы рассчитали частотно-угловое распределение ТГц излучения, генерируемого ансамблем невзаимодействующих атомов, для различных длин и ширин газовой среды. Исследования показали, что пространственное распределение имеет

коническую структуру для сравнительно небольших ТГц частот (~ 1 ТГц), излучение на частотах ~ 10 ТГц помимо конической структуры содержит дополнительные поперечные максимумы. Вид пространственного распределения зависит от геометрических размеров газовой среды. Отметим, что наличие конической структуры распределения ТГц поля в доионизационном режиме взаимодействия (когда интенсивностей лазерных полей недостаточно для образования плазменного канала), позволяет предложить новый способ объяснения такого распределения поля и в случае генерации его при распространении филаментов, поскольку в последнем случае считалось, что коническая структура пространственного распределения ТГц излучения связана со специфическими условиями фазового синхронизма при наличии керровских и плазменных нелинейностей.

Результаты этой работы были опубликованы в статье: S.Yu. Stremoukhov and A.V. Andreev "Spatial variations of the intensity of THz radiation emitted by extended media in two-color laser fields", *Laser Phys. Lett.* **12**, 015402 (2015).

НЕЗАМЕЧЕННОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО ОРГАНИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ



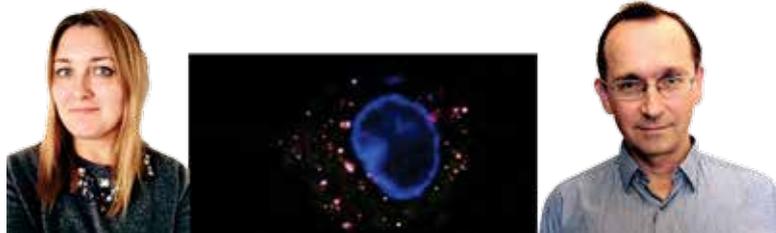
Физики МГУ Труханов В.А., Бруевич В.В., Паращук Д.Ю. (кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета и Международный лазерный центр МГУ им. М.В. Ломоносова) обнаружили, что один из ключевых фотоэлектрических параметров органических фотоэлементов может превышать теоретический предел Шокли-Квайссера.

Органические солнечные фотоэлементы выступают перспективной альтернативой кремниевым и другим неорганическим солнечным фотоэлементам благодаря простоте производства, низкой стоимости, малому весу и механической гибкости. Однако КПД лучших органических солнечных фотоэлементов на сегодняшний день существенно ниже неорганических аналогов. Полагают, что предельный КПД органических фотоэлементов всегда ниже такового для однокаскадных неорганических фотоэлементов согласно т.н. пределу Шокли-Квайссера (1961 г.). КПД фотоэлемента определяют из его вольт-амперной характеристики (ВАХ) при освещении, он пропорционален площади прямоугольника, вписанного в четвертый квадрант ВАХ. КПД сильно зависит от крутизны ВАХ, характеризуемой ее фактором заполнения (Fill Factor, FF). Шокли и Квайссер также установили теоретический предел FF для неорганических солнечных фотоэлементов.

Используя разработанную ранее численную модель органического солнечного фотоэлемента, учитывающей особенности фотогенерации, транспорта и рекомбинации носителей заряда в органических полупроводниковых материалах [V.A. Trukhanov, et al. *Phys. Rev. B* **84**, 205318 (2011)], группа физиков из МГУ показала, что FF для органических солнечных фотоэлементов может превышать предел Шокли-Квайссера. Данный факт открывает незамеченное ранее преимущество органических солнечных фотоэлементов над неорганическими и направляет поиски путей улучшения их характеристик.

Результаты работы опубликованы в статье: V.A. Trukhanov, V.V. Bruevich, D.Yu. Paraschuk "Fill factor of organic solar cells can exceed the Shockley-Queisser limit," *Scientific Reports* **5**, 11478 (2015).

НАНОЧАСТИЦЫ, АКТИВИРУЕМЫЕ УЛЬТРАЗВУКОМ, ДЛЯ УНИЧТОЖЕНИЯ РАКОВЫХ КЛЕТОК



С.н.с. Л.А. Осминкина
(Кафедра физики низких температур и сверхпроводимости)

Проф. В.Ю. Тимошенко

Учеными физфака МГУ совместно с коллегами из России и Европы открыты новые возможности использования для терапии рака наночастиц на основе кремния и углерода, активируемых ультразвуком.

Онкологические болезни до настоящего времени являются одной из основных причин смертности людей, и хирургия до сих пор остается наиболее эффективным способом лечения рака. Однако для достижения значительного прогресса в борьбе с раком требуется разработка новых малоинвазивных методов лечения.

Биодеградируемые наночастицы на основе кремния и углерода изучались как усилители (сенситизаторы) для ультразвуковой терапии. Исследования методом люминесцентной конфокальной микроскопии *in vitro* показали эффективный захват наночастиц раковыми клетками. При этом наночастицы сами по себе нетоксичны (биосовместимы) даже при высоких концентрациях при их внутривенном введении *in vivo*. После воздействия терапевтическим ульт-

развуком на раковые клетки и опухоли в присутствии наночастиц наблюдалось разрушение клеток и сильное подавление роста опухоли. Установлено, что данный эффект комбинированного действия ультразвука и наночастиц вызван кавитационными процессами, сенситизированными наночастицами. Полученные результаты открывают новые возможные применения биосовместимых наночастиц в сонодинамической терапии рака.

Результаты работы изложены в статьях: *Applied Physics Letters*, v. **107**, 123107 (2015); *Microporous and Mesoporous Materials* **210**, 169–175 (2015); *Science and Technology of Advanced Materials* **16** (4), 044601 (2015).



КРЕМНИЕВЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ В КАЧЕСТВЕ КОНТРАСТИРУЮЩИХ АГЕНТОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ



асп. Д.В. Шулейко



с.н.с. А.А. Ежов



доц. С.В. Заботнов



проф. П.К. Кашкаров

Учеными физфака МГУ проф. П.К. Кашкаров, доц. С.В. Заботнов, с.н.с. А.А. Ежов, асп. Д.В. Шулейко, (кафедры общей физики и молекулярной электроники и квантовой электроники) совместно с коллегами из ИПФ РАН показаны новые перспективы использования кремниевых наночастиц для визуализации биологических и биоподобных сред.

В настоящее время кремниевые наноструктуры представляют значительный интерес не только для создания новых устройств микро- и наноэлектроники, но и для различных биомедицинских применений, поскольку при определенных условиях изготовления кремниевые наночастицы обладают высокими степенями биосовместимости и био-

деградируемости. Достаточно хорошо изучены возможности использования таких структур в качестве фотолюминесцентных маркеров. В тоже время, ввиду относительно высокого показателя преломления кремния (около 3.6 в красной области спектра) наночастицы из данного материала представляются эффективными рассеивателями света,

что может быть использовано при оптической диагностике для контрастирования различных структурных элементов внутри исследуемых объектов, в том числе, и биологических, например, методом оптической когерентной томографии (ОКТ).

Данная возможность подтверждена совместными исследованиями, проведенными учеными физического факультета МГУ и Института прикладной физики РАН (Нижний Новгород), на примере изучения особенностей рассеяния света кремниевыми наночастицами размером от 2 до 200 нм, формируемыми в процессе абляции (выноса вещества) при облучении монокристаллического кремния мощными пикосекундными лазерными импульсами в воде. Оптические свойства полученной данным образом суспензии исследовались методом спектрофотометрии в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Кремниевые наночастицы в воде продемонстрировали эффективное свето-

рассеяние: коэффициент рассеяния суспензии составляет порядка 0.1 мм^{-1} при концентрации частиц 10^{13} см^{-3} . Также была показана возможность использования данных сред для контрастирования структурных элементов модельного объекта при визуализации методом ОКТ. В качестве модельного объекта использовался агаровый гель, на который наносилась водная суспензия наночастиц. Максимальный контраст при этом составил 14 дБ, что подтверждает перспективность использования кремниевых наночастиц, формируемых методом лазерной абляции, в задачах ОКТ.

Результаты исследований опубликованы в статье M.Yu. Kirillin, E.A. Sergeeva, P.D. Agrba, A.D. Krainov, A.A. Ezhov, D.V. Shuleiko, P.K. Kashkarov, S.V. Zaboltnov, "Laser-ablated silicon nanoparticles: optical properties and perspectives in optical coherence tomography", *Laser Physics* **25**, 075604 (2015).

ФОРМИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В МАТРИЦЕ КРЕМНИЯ



Профессор Салецкий А.М., доцент Клавсюк А.Л.
(кафедра общей физики, физический факультет МГУ)

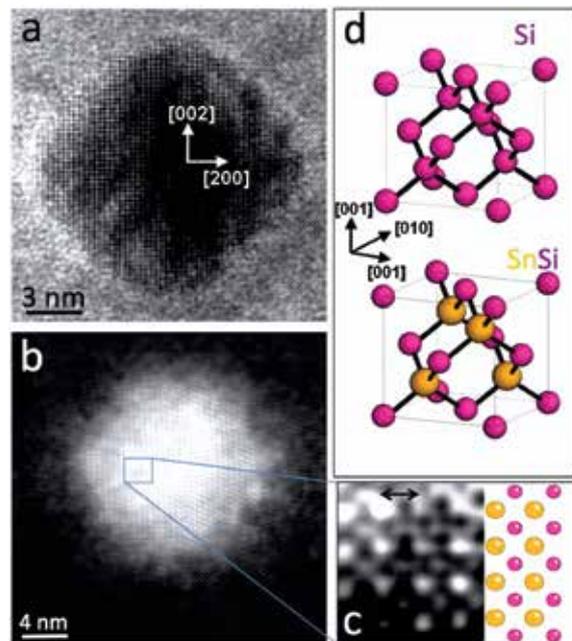
Учеными физического факультета МГУ совместно с сотрудниками Института физики микроструктур им. М. Планка (Германия) впервые было продемонстрировано и объяснено формирование квантовых точек SnSi в матрице кремния.

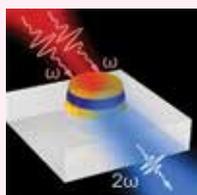
В последние годы многие теоретические и экспериментальные работы в области инъекционных гетеролазеров с активной областью на основе массива бездефектных квантовых точек продемонстрировали преимущества использования квантово-размерных гетероструктур. Квантовые точки имеют дельта-образный спектр плотности состояний, вследствие этого число состояний, которые необходимо заполнить для достижения тока прозрачности, является небольшим, как следствие снижается пороговая плотность тока инъекционного лазера. Кроме того, применение квантовых точек позволяет расширить диапазон длин волн излучения прибора по сравнению с квантовыми ямами. Последнее преимущество является следствием увеличения эффективного размера области квантования в квантовых точках без образования структурных дефектов. Поэтому исследование процессов формирования квантовых точек и их свойств является актуальной задачей современной науки.

Учеными физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (кафедра общей физики) в сотрудничестве с зарубежными партнерами из Института физики микроструктур им. М. Планка было обнаружено формирование квантовых точек SnSi, имеющих структуру цинковой обманки при молекулярно-лучевой эпитаксии. Расчеты в рамках теории функционала плотности объяснили стабилизирующий эффект матрицы кремния. В работе также показано, что зонная структура квантовых точек SnSi существенно зависит от таких параметров как концентрация олова и деформаций.

Результаты исследований опубликованы в статье: Alexander Tonkikh, Andrey Klavskyu, Nikolay Zakharov, Alexander Saletsky, Peter Werner "SnSi nanocrystals of zinc-blende structure in a Si matrix" *Nano Research* **8**, № 12 (2015).

<http://dx.doi.org/10.1007/s12274-015-0890-z>





ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В МЕТАМАТЕРИАЛАХ С МАГНИТОДИПОЛЬНЫМ РЕЗОНАНСОМ



асп. А.Ю. Быков



доц. Т.В. Мурзина



м.н.с. Е.А. Мамонов



ст. преп. И.А. Колмычек

Физиками МГУ доц. Т.В. Мурзина, ст. преп. И.А. Колмычек, м.н.с. Е.А. Мамонов и асп. А.Ю. Быков (кафедры квантовой электроники и общей физики) совместно с коллегами из Австралийского Национального университета (г. Канберра) экспериментально исследовали нелинейно-оптические эффекты в регулярных массивах композитных трехслойных нанодисков, в которых наблюдается возбуждение магнитодипольного резонанса.

Плазмонные свойства планарных массивов металлических наноструктур различного дизайна являются объектом интенсивных исследований в настоящее время. Известно, что возбуждение плазмонных резонансов, или резонансов Ми, существенно модифицирует оптический и нелинейно-оптический отклик структуры, что может найти применение в устройствах нанопотоники. Усиление генерации второй оптической гармоники в спектральной окрестности возбуждения электрического дипольного резонанса в плазмонных наноструктурах представлено в многочисленных работах, в то время как влияние магнитного дипольного резонанса структуры на ее оптический линейный и квадратичный отклик до сих пор изучено недостаточно.

Группой ученых физического факультета МГУ, кафедры квантовой электроники и общей физики, совместно с коллегами из Австралийского Национального Университета (г. Канберра), изучены линейные и нелинейно-оптические свойства массивов трехслойных нанодисков Au/MgF₂/Au (диаметр 140 нм, толщина 30 нм), разделенных диэлектрическим слоем такой же толщины. Нанозлементы расположены в узлах квадратной решетки с периодом 400 нм. Расчеты показали, что в такой структуре возможно возбуждение различных видов резонансов: электро-дипольного, соответствующего синфазным колебаниям электрического поля в двух золотых нанодисках, а также магнитодипольного и электрического квадрупольного, при которых такие колебания происходят в противофазе. В спектре пропускания таких структур наблюдаются минимумы, соответствующие возбуждениям различных видов резонансов и связанные с усилением поглощения, а значит и локального поля в соответствующих спектральных диапазонах.

Была исследована генерация оптической второй гармоники (ВГ) в таких структурах в спектральной окрестности магнитодипольного (МД) резонанса. При этом обнаружено, что наблюдается возрастание интенсивности второй гармоники в 5–10 раз (в зависимости от поляризации излучения накачки и регистрируемого сигнала ВГ) при возбуждении МД резонанса. Помимо интенсивности, впервые изучена и спектральная зависимость фазы волны второй гармоники. Экспериментально показано, что величина изменения фазы волны ВГ при перестройке длины волны излучения накачки в области магнитодипольного резонанса зависит от угла падения накачки, а также от поляризации зондирующего излучения. Максимальное изменение фазы волны ВГ достигает 360° при нормальном падении зондирующего излучения на структуру и параллельных поляризациях излучения накачки и ВГ.

Полученные данные спектроскопии интенсивности и фазы волны ВГ подтверждают магнитодипольную природу детектируемого квадратичного оптического отклика. На основе анализа симметрии электродипольных и магнитодипольных компонент тензора квадратичной восприимчивости развито феноменологическое описание генерации оптической второй гармоники в данной структуре.

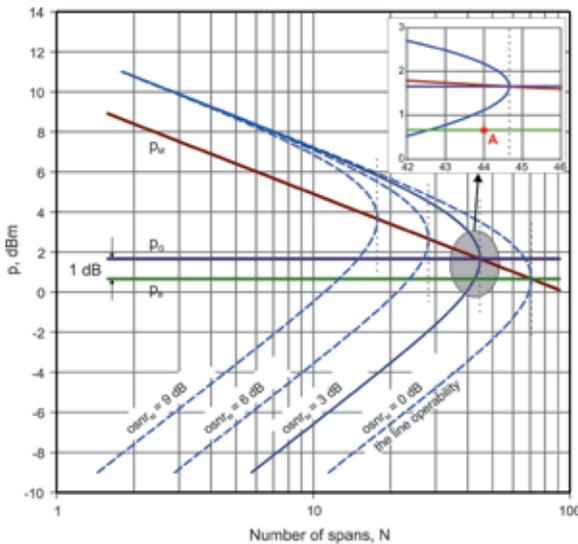
Результаты этой работы были опубликованы в статьях: I.A. Kolmyche, A.Yu. Bykov, E.A. Mamonov, T.V. Murzina, "Second-harmonic generation interferometry in magnetic-dipole nanostructures", *Opt. Lett.* 40, 3758–3761 (2015); S. Kruk, M. Weismann, A.Yu. Bykov, E.A. Mamonov, I.A. Kolmychek, T.V. Murzina, N.C. Panoiu, D.N. Neshev, Yu.S. Kivshar, "Enhanced magnetic second harmonic generation from resonant metasurfaces", *ACS Photonics* 2, 1007–1012 (2015).



ОТ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ШУМА К РЕКОРДНОЙ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ



проф. О.Е. Наний



Проф. О.Е. Наний, (кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем физфака МГУ) с коллегами из компании Т8, НГУ и компании OFS создали теоретическую модель формирования и накопления нелинейных интерференционных шумов в волоконно-оптических когерентных системах связи. Эта модель была экспериментально верифицирована и использована для усовершенствования когерентных оптических систем связи. Достигнута рекордная дальность безрегенерационной передачи информации в наземных линиях связи: 6000 км при передаче 80 спектральных каналов по 100 Гбит/с и суммарной скорости 8Тбит/с.

Внедрение когерентных оптических приемников с цифровой обработкой сигналов кардинально изменило структуру волоконно-оптических систем связи. Когерентные системы связи сохраняют фазовую и поляризационную информацию оптического сигнала при преобразовании в электрическую форму. Это позволяет использовать любые форматы модуляции, осуществлять поляризационное мультиплексирование и постобработку электрических сигналов, включая адаптивную компенсацию хроматической дисперсии. Электронная компенсация позволяет полностью отказаться от использования еще недавно обязательной периодической компенсации хроматической дисперсии на физическом уровне. В таких волоконно-оптических линиях связи быстро растущая накопленная дисперсия ведет к расширению и пространственному перекрытию множества последовательно передаваемых символов. В результате перекрытия и интерференционного сложения полей информационной последовательности оптических сигналов временная структура поля становится непредсказуемой (псевдослучайной) и по статистическим свойствам эквивалентна шуму.

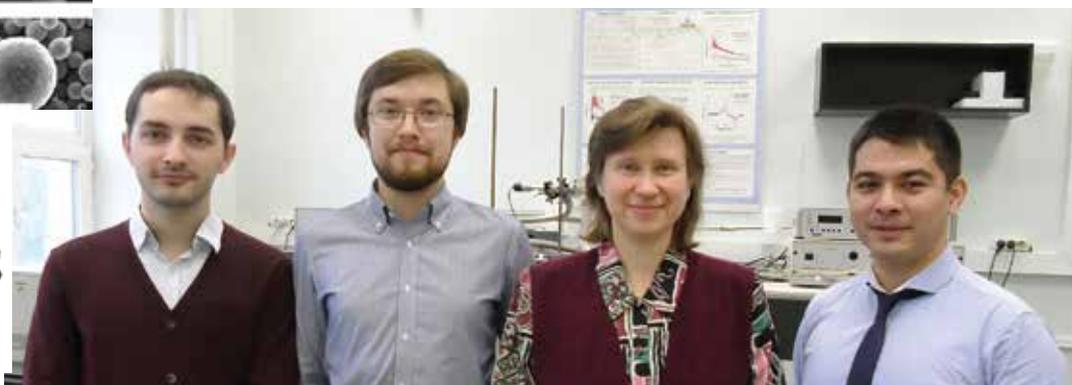
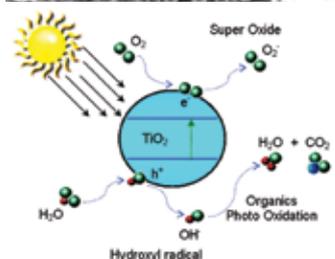
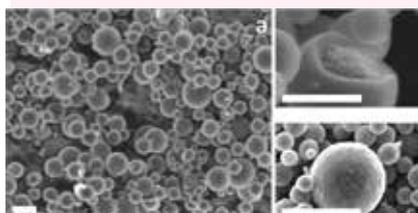
Вследствие псевдослучайного изменения амплитуды полей оптических сигналов нелинейные искажения в многоканальных системах связи со спектральным мультиплексированием проявляются как нелинейный интерференционный шум. Это кардинально отличает когерентные системы связи без компенсации хроматической дисперсии от традиционных систем связи, в которых нелинейные искажения приводят к искажению формы оптических сигналов. Поэтому традиционные методы расчета, проектирования

и оптимизации не когерентных волоконно-оптических систем связи не применимы к когерентным линиям связи без компенсации дисперсии.

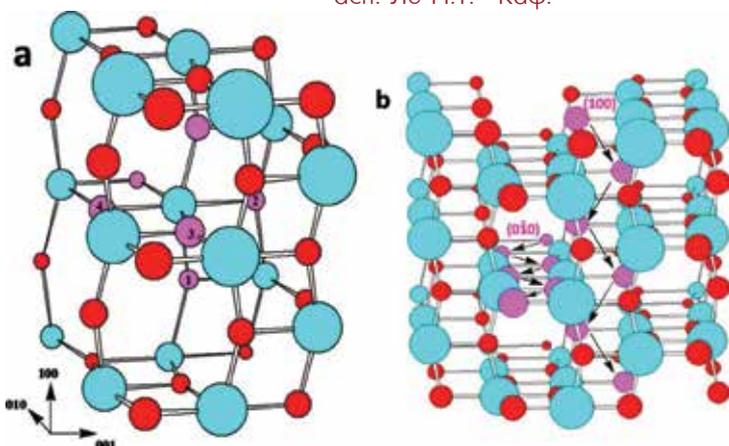
Выполненный нами цикл теоретических и экспериментальных исследований позволил развить модель нелинейного интерференционного шума, измерить нелинейные параметры телекоммуникационных волокон, установить характер накопления нелинейного интерференционного шума в длинных линиях связи и разработать методику оптимизации систем связи. Практическим результатом проведенных исследований стало достижение рекордной дальности (6000 км) безрегенерационной передачи информации в наземных линиях связи при суммарной скорости 8Тбит/с.

Результаты данной работы опубликованы в следующих статьях: V.A. Konyshov, A.V. Leonov, O.E. Naniy, A.G. Novikov, V.N. Treshchikov, R.R. Ubaydullaev, "Accumulation of nonlinear noise in coherent communication lines without dispersion compensation", *Opt. Commun.* **349**, 19–23 (2015); V.A. Konyshov, A.V. Leonov, O.E. Naniy, V.N. Treshchikov, R.R. Ubaydullaev, "New method to obtain optimum performance for 100 Gb/s multi-span fiber optic lines", *Opt. Commun.* **355**, 279–284 (2015); A.A. Redyuk, O.E. Naniy, V.N. Treshchikov, V. Mikhailov, M.P. Fedoruk, "100 Gb/s coherent DWDM system reach extension beyond the limit of electronic dispersion compensation using optical dispersion management", *Laser Phys. Lett.* **12**, 025101 (2015).

ДИНАМИКА РАДИКАЛОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛАХ



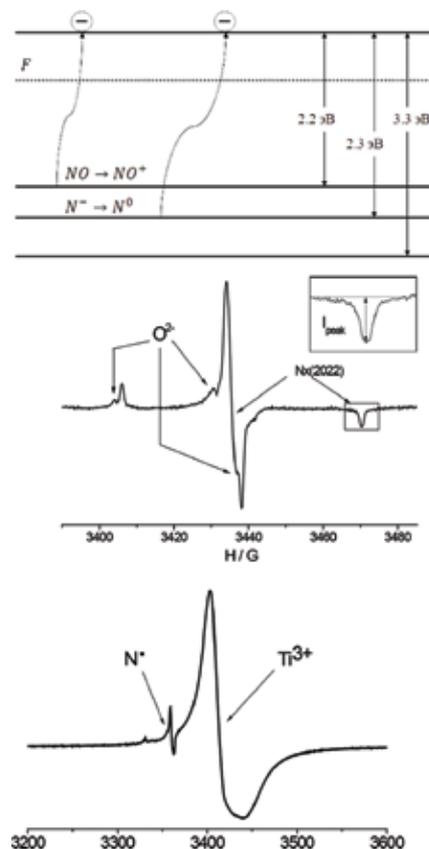
Слева направо: асп. Миронов А.А., асп. Миннеханов А.А., проф. Константинова Е.А., асп. Ле Н.Т. Каф.



Учеными физического факультета (проф. Е.А. Константинова, аспирант Н.Т. Ле, аспирант А.А. Миннеханов) предложена новая экспериментальная методика детектирования реакций в системе радикалов и определения положения их энергетических уровней в запрещенной зоне наноструктурированных полупроводников на примере диоксида титана.

Актуальность исследований физико-химических свойств наноструктурированных материалов на основе диоксида титана обусловлена присущим им уникальным свойствам, среди которых можно выделить огромную удельную площадь поверхности (порядка сотни квадратных метров на грамм вещества), доступную молекулам окружающей среды, что является доминирующим фактором в кардинальном изменении фотоэлектронных свойств указанных материалов по сравнению с их объемными фазами. На такой развитой поверхности неизбежно присутствуют дефекты, существенная часть которых представляет собой радикалы. Последние в значительной степени определяют оптоэлектронные свойства наноструктурированных материалов, в том числе диоксида титана.

В ходе исследования были реализованы важные экспериментальные схемы, позволившие непосредственно в резонаторе спектрометра ЭПР, с помощью которого осуществлялась регистрация радикалов, инициировать фотокаталитический процесс разложения ряда токсичных веществ и детектировать радикалы в ходе этого процесса, т.е. "in situ". Также в условиях "in situ" было реализовано облучение образцов с различной энергией квантов, что позволило в результате примесного поглощения инициировать процессы перезарядки в системе радикалов. Указанные процессы приводили как к генерации, так и к аннигиляции радикалов, что в свою очередь вызывало соответствующие вариации интенсивности сигнала ЭПР, и позволило определить положение уровней дефектов по энергии в запрещенной зоне. Кроме того, было изучено влияние температуры на динамику превращений радикалов в наноструктурированных микросферах диоксида титана как исходного, так и легированного азотом. Установлено экспериментально и подтверждено теоретическими расчетами методом DFT, что в процессе хранения образ-



цов на воздухе концентрация дефектов не меняется, а происходит лишь их трансформация в непарамагнитное состояние в результате диффузии кислородных вакансий в решетке диоксида титана с последующим захватом ими междоузельных азотных радикалов. Полученный результат, свидетельствуя об отсутствии деградации «очищающих» свойств данного материала с течением времени, имеет важнейшее значение для практических применений фотокатализаторов на основе диоксида титана в качестве фильтров для очистки окружающей среды от токсичных примесей.

Результаты данной работы опубликованы в статьях: N.T. Le, E.A. Konstantinova, A.I. Kokorin, T. Kodom, N. Alonso-Vante. Recharge processes of paramagnetic centers during illumination in nitrogen-doped nanocrystalline titanium dioxide. *Chemical Physics Letters*. **635**, 241 (2015).

A. Tarasov, A. Minnekhanov, G. Trusov, E.A. Konstantinova, A. Zyubin, T.S. Zyubina, A. Sadovnikov, Y.A. Dobrovolsky, E.A. Goodilin. Shedding Light on Ageing of N-Doped Titania Photocatalyst. *J. Phys. Chem.* **119**, 18663 (2015).

ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ РУДЕНКО НАГРАЖДЕН ОРДЕНОМ ДРУЖБЫ



В соответствии с указом Президента РФ № 649 от 22 декабря 2015 года за «Заслуги в области развития образования, научной и педагогической деятельности, большой вклад в подготовку квалифицированных специалистов» зав. кафедрой акустики физического факультета МГУ, академик РАН Олег Владимирович Руденко награжден Орденом Дружбы.

ПОЗДРАВЛЯЕМ!



ЛОМОНОСОВСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ В МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД СВЕТА



С 20 по 26 августа 2015 года на физическом факультете МГУ проходила 17-я Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц. Данная серия международных мероприятий проводится с 1992 года под патронажем ректора МГУ академика В.А. Садовниченко. Подготовка и проведение конференции активно поддерживались деканом физического факультета профессором Н.Н. Сысовым. На открытии конференции с приветствием к участникам мероприятия выступил проректор МГУ академик РАН А.Р. Хохлов.

Конференция проводится при поддержке Министерства образования и науки РФ и Российского фонда фундаментальных исследований. Существенная поддержка на этапе подготовки конференции была оказана Объединенным институтом ядерных исследований (Дубна) и Институтом ядерных исследований РАН.

Программа конференции (в программе мероприятия порядка 200 докладов) охватывает актуальные в настоящее время проблемы физики элементарных частиц, гравитации и космологии. В конференции приняли участие представители 30 стран, и она является одним из главных регулярно проводящихся в России международных мероприятий подобного рода. Большое количество докладов было посвящено последним результатам по исследованию свойств недавно открытого на ускорителе БАК в ЦЕРНе бозона Хиггса. Значительная часть программы конференции посвящена новейшим достижениям в области физики нейтрино и астрофизики.

Среди докладчиков — члены Российской академии наук А.А. Славнов (МИАН и МГУ), А.А. Старобинский (ИТФ им. Л.Д. Ландау), М.И. Высоцкий (ИТЭФ), И.И. Ткачев (ИЯИ РАН). С пленарными докладами на конференции выступили мировые лидеры исследований по различным направлениям научной программы конференции,

в том числе Н. Мандолези (Феррара, Италия) — руководитель крупнейшего эксперимента по регистрации космических лучей «Planck», Б. Барिश (КалТех, США) — лидер проекта «International Linear Collider», М. Корацинос (ЦЕРН) — лидер нового проекта суперколлайдера «FCC-ee» в ЦЕРНе, Н. Герелс (НАСА, США) — руководитель проекта по исследованию космических лучей «SWIFT», С.-Б. Ким (Сеул, Ю.Корея) — руководитель международного нейтринного эксперимента «RENO», М. Накахата (Токио, Япония) — руководитель подземной нейтринной лаборатории «Kamiokande», П.-Л. Белли (ИНФН, Рим, Италия) — руководитель эксперимента по поиску темной материи «DAMA/LIBRA», Р. Якобссон (ЦЕРН, Швейцария) — руководитель проекта по поиску эффектов «новой физики» за пределами Стандартной модели «SHiP», Р. Вилсон (Колорадо, США) — руководитель проекта нейтринного эксперимента «DUNE», И. Бозович-Елисавич (Белград, Сербия) — руководитель ускорительного эксперимента «CLIC» (ЦЕРН), О. Адриани (Флоренция, Италия) — лидер ускорительного эксперимента «LHCf» (ЦЕРН), Дж. Даттоли (Фраскати, Италия) — руководитель программы лазера на свободных электронах во Фраскати.

2015 год провозглашен Генеральной ассамблеей ООН «Международным годом света», так как в этом году отмечаются юбилеи важнейших открытий, связанных с теорией электромагнитного излучения и распространением света, сделанных Дж. Максвеллом (в 1865 году), А.Эйнштейном (в 1905 и 1915 годах) и А. Пензиасом совместно с Р. Уилсоном (в 1965 году). «Году света» была посвящена специальная научная сессия конференции, проходившая в форме круглого стола на тему «Элементарные частицы в Год света: от уравнений Максвелла до физики за пределами Стандартной модели».

ПЛЕНУМ УМС ПО ФИЗИКЕ УМО ПО КЛАССИЧЕСКОМУ УНИВЕРСИТЕТСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ РФ



В мае 2015 г. на базе Воронежского государственного университета состоялось заседание Пленума Учебно-методического совета по физике УМО по классическому университетскому образованию РФ.

13–15 мая 2015 г. на базе Воронежского ГУ (г. Воронеж) состоялось заседание Пленума Учебно-методического совета по физике УМО по классическому университетскому образованию РФ. На очередном заседании пленума приняли участие 35 представителей из 25 классических университетов России.

Открыл заседание председатель президиума УМС по физике декан физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова профессор Н.Н. Сыроев.

На пленуме обсуждались вопросы обучения в Высших учебных заведениях России в условиях перехода на Федеральные государственные стандарты — ФГОС 3+.

Презентации докладов и решение пленума представлены на сайте УМС по физике.

АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ СУХОРУКОВ

А.П. Сухоруков — коренной москвич, познавший все трудности военного детства. После окончания средней школы он поступил в Московский авиационный приборостроительный техникум им. С. Орджоникидзе. Окончив его с отличием, он получил право продолжать обучение в высших учебных заведениях СССР. Успешно сдав вступительные экзамены, А.П. Сухоруков в 1955 году стал студентом физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В 1961 г. он с отличием окончил кафедру физики колебаний физического факультета МГУ. На эту кафедру он вернулся в 1963 г., поступив в аспирантуру после трех лет работы младшим научным сотрудником в Институте электронных управляющих машин АН СССР.



После окончания аспирантуры А.П. Сухоруков работал на кафедре волновых процессов физического факультета МГУ. В 1967 г. он блестяще защитил кандидатскую диссертацию «Дифракционные пучки в нелинейных средах», выполненную под руководством академика Р.В. Хохлова, а через семь лет, в 1974 г., получил диплом доктора

физико-математических наук. Тема его докторской диссертации: «Волновые пучки и импульсы в нелинейных средах».

В 1977 г. Анатолий Петрович стал профессором кафедры волновых процессов. В 1984 г. В.С. Фурсов назначил его заведующим Отделением радиофизики. Победив на альтернативных выборах четырех кандидатов А.П. Сухоруков в 1989 становится деканом физического факультета. На этом посту он проработал три трудных года. С 1988 г. до самых последних дней жизни А.П. Сухоруков возглавлял кафедру фотоники и физики микроволн. Так теперь называется кафедра, на которую он пришел студентом.

Обширный круг научных исследований А.П. Сухорукова посвящен исследованию самофокусировки волновых пучков в средах с различными механизмами нелинейности. Проведя гидродинамическую аналогию, он впервые получил ряд точных аналитических решений, описывающих ход лучей в нелинейных средах. Им был разработан универсальный метод безабберационного описания самофокусировки, нашедший широкое применение в научной литературе. Это позволило определить конечное время жизни нелинейного волновода при самофокусировке в релаксационной среде.

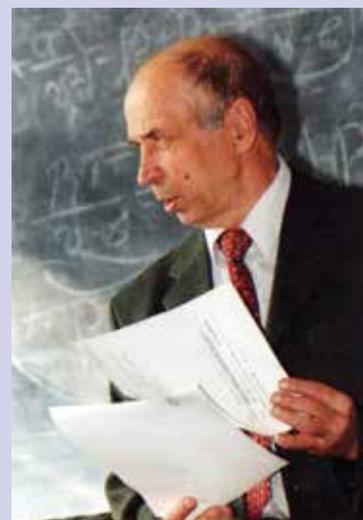
В работах по нелинейной оптике нематических жидких кристаллов (НЖК) им впервые была установлена абберационная природа наблюдавшейся в экспериментах кольцевой структуры самофокусирующегося лазерного пучка. Совместно с коллегами и учениками из ФИАН имени П.Н. Лебедева он обнаружил и описал светоиндуцированный фазовый переход второго рода в НЖК, выявил механизм автоколебаний директора НЖК в непрерывном световом поле.

Другое весьма важное направление исследований А.П. Сухорукова относится к нелинейной оптике атмосферы. Здесь он впервые исследовал целый ряд закономерностей распространения мощных лазерных пучков через прозрачную и облачную среду. Им было предсказано явление самоискривления (самоотклонения) траектории светового пучка в движущейся среде или при его сканировании; выявлены основные свойства тепловой дефокусировки с учетом свободной конвекции. Ему принадлежит цикл пионерских работ по нелинейной адаптивной оптике.

А.П. Сухоруковым была разработана удивительно простая теория лазерного просветления облачной среды на основе введения понятия водности, изменяющейся при лазерно-индуцированном испарении жидких аэрозолей. Практически все последующие работы других авторов следовали этому представлению. Позднее идея индуцированного просветления атмосферы была перенесена А.П. Сухоруковым и его учениками на лазерный фотолиз озона. Это привело к разви-



29 ноября 2015 исполнилось восемьдесят лет со дня рождения выдающегося российского ученого, лауреата Ленинской, Государственной и Ломоносовских премий, заведующего кафедрой фотоники и физики микроволн физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова профессора Анатолия Петровича Сухорукова. А.П. Сухоруков — ученый с мировым именем. Им получены основополагающие результаты в области волновой физики, нелинейной и когерентной оптики, лазерной физики, а также нелинейной акустики и радиофизики. Его работы во многом определили современное развитие этих направлений.



тию двух новых направлений: нелинейной оптики озоносферы и лазерной фотохимии озона.

А.П. Сухоруков исследовал трехчастотные взаимодействия волновых пучков и пакетов с учетом дифракции и дисперсии. Разработанная им теория позволила понять явление дифракционной некогерентности, выявить дифракционный предел эффективности мощных удвоителей частоты света, сформулировать принцип оптимальной фокусировки, который составляет основу современной техники высокоэффективного преобразования частоты лазерного излучения.

А.П. Сухоруков один из первых развил теорию параметрического взаимодействия и вынужденного рассеяния коротких импульсов с учетом рассогласования групповых скоростей. Он предсказал генерацию гигантского параметрического импульса, имеющего большую амплитуду, чем у волны накачки, и фемтосекундную длительность. Этот эффект и сегодня используется в технике формирования сверхкоротких оптических импульсов.

А.П. Сухоруков открыл новый механизм локализации волновых пучков и импульсов в квадратично-нелинейных средах и предсказал существование параметрических солитонов, обладающих устойчивостью не только в двумерном, но и в трехмерном случае. Эти солитоны, впервые наблюдавшиеся экспериментально в США, открывают принципиально новые возможности для создания оптически управляемых логических элементов обработки информации. Пионерские работы А.П. Сухорукова по теории параметрических солитонов получили мировое признание. Исследование свойств и взаимодействия этих солитонов ведется во многих научных центрах.

В последние годы А.П. Сухоруковым получен ряд новых важных результатов в области фотоники. Среди них — открытие уникального свойства полного преобразования энергии накачки в одну волну в параметрических генераторах с кратными частотами, впервые развитая теория формирования параметрических солитонов с малым числом осцилляций и предельно узких векторных пространственных солитонов. Им впервые теоретически и экспериментально исследовано возбуждение неподвижных и медленных 2D- и 3D-солитонов в гидродинамических и

радиофизических моделях, изучены особенности возбуждения диссипативных солитонов в резонаторах и брэгговских решетках. В когерентной оптике А.П. Сухоруковым был открыт новый класс сингулярных волн с пространственно-временными дислокациями.

Высокую оценку заслужили его приоритетные работы, развивающие теорию волноводного распространения электромагнитного излучения в объеме и на поверхности слоистых метаматериалов с отрицательным показателем преломления. В его лаборатории был предсказан, а затем экспериментально подтвержден эффект отражения оптических волн от импульсных лазерных пучков другой частоты в нелинейных средах.



А.П. Сухоруков стоял у истоков нелинейной акустики волновых пучков. Он первым начал разрабатывать теорию дифракции узких пучков в средах без дисперсии и применил ее к описанию параметрических акустических антенн. Важное практическое значение имеют его работы по нелинейной акустике стратифицированных сред при наличии ветра. Им были найдены точные аналитические решения уравнений высокочастотной акустики при произвольном задании распределения фазы и амплитуды на границе источника звука.

А.П. Сухоруков был одним из ведущих лекторов физического факультета МГУ. Им был создан и более сорока лет успешно читался годовой общий курс "Теория волн". Написанное им совместно с М.Б. Виноградовой и О.В. Руденко учебное пособие по этому курсу, выдержавшее два издания, стало настольной книгой студентов, аспирантов и многих научных сотрудников.

Научная школа А.П. Сухорукова "Физика волновых взаимодействий в неоднородных и нелинейных средах" развивает традиции, заложенные в Московском университете академиком Р.В. Хохловым. Среди учеников А.П. Сухорукова более 100 выпускников физического факультета МГУ, 40 кандидатов и 9 докторов наук. А.П. Сухоруков опубликовал более 400 научных статей и ряд книг. В их числе: А.П. Сухоруков «Нелинейные волновые взаимодействия в оптике и радиофизике» (изд. «Наука», 1988); Ю.Н. Карамзин, А.П. Сухоруков, В.А. Трофимов «Численное моделиро-



вание в нелинейной оптике» (изд. МГУ, 1990); Ю.К. Алексеев, А.П. Сухоруков «Введение в теорию катастроф» (изд. МГУ, 1995 г.). Большую роль в подготовке высококвалифицированных научных кадров играли проводимые под его руководством ежегодные Всероссийские школы-семинары по волновым явлениям, которые вот уже почти двадцать лет собирают молодых ученых, интересующихся вопросами волновой физики.

А.П. Сухоруков активно работал в редколлегиях ряда научных журналов: «Известия РАН, сер. физическая», «Physics of Wave Phenomena», «Электромагнитные волны и электронные системы», «Радиотехника и электроника. Электронный выпуск». Около двадцати пяти лет он возглавлял совет по защите докторских диссертаций в МГУ, состоял членом докторского совета при ИОФ РАН им. А.М. Прохорова РАН, работал экспертом в различных научных фондах. А.П. Сухоруков был членом программных комитетов конференций: «ICONO», «Оптика лазеров», «Оптика – XXI век» и целого ряда молодежных научных школ.



За выдающийся вклад в науку А.П. Сухоруков удостоен Ленинской премии (1988), Государственной премии СССР (1984), Ломоносовской премии (2006). Ему присвоены почетные звания «Заслуженный деятель науки Российской



Федерации» и «Заслуженный профессор Московского университета». Он награжден медалями «Памяти 850-летия Москвы» и «Ветеран труда», почетными знаками «225 лет МГУ» и «250 лет МГУ». Осенью 2013 года за заслуги в области образования и многолетнюю плодотворную работу он был награжден Орденом Дружбы.

А.П. Сухоруков был избран действительным членом Международной академии наук Высшей школы, Российской академии естественных наук, Международной академии инженерных наук. Он являлся действительным членом Российского оптического общества им. С.Д. Рождественского, Американского оптического общества и Международного общества оптических инженеров.

Все, кому посчастливилось лично быть знакомыми с Анатолием Петровичем, навсегда запомнят его как замечательного, разносторонне образованного человека, великого труженика, интересного собеседника, бесконечно влюбленного в нелинейную оптику и лазерную физику. Завершая статью, хочу сказать еще об одном «достижении» Анатолия Петровича. Это его сын — Андрей Анатольевич, известный ученый, активно и плодотворно работающий в области теории распространения лазерных импульсов и солитонов, которому он сумел увлечь, показав красоту и величие нелинейной оптики.

Заведующий отделением Радиофизики и Электроники
заведующий кафедрой общей физики и волновых процессов
проф. В.А. Макаров



ЦЕЛЬ – НАБРАТЬ ЛУЧШИХ НА ПЕРВЫЙ КУРС

А.Д.Масленникова, К.В.Парфенов, А.И.Федосеев

В 2015 году количество абитуриентов физического факультета увеличилось почти на 400 человек по сравнению с 2014 годом (при этом на других естественных факультетах МГУ конкурс существенно не изменился или даже стал меньше). Это случайность или результат системной работы со школьниками?

Основное направление этой работы — проведение олимпиад и конкурсов научно-практических работ школьников. Мы проводим олимпиады по физике «Ломоносов», «Покори Воробьевы горы!», «Турнир Юных физиков» (совместно с другими университетами). Активно участвуем в проведении Московской олимпиады школьников по физике — наши сотрудники и аспиранты составляют задачи, проверяют работы и рассматривают апелляции участников. Преподаватели факультета участвуют в проведении всех этапов Всероссийской олимпиады школьников по физике в г. Москве (создание рекомендуемых вариантов заданий для школьного и муниципального этапов, проведение регионального этапа). Уже в 2016 году планируется проведение (совместно с фондом «Вольное Дело» и факультетом ВМК) олимпиады по робототехнике в рамках фестиваля «РобоФест». Наши усилия направлены на развитие всей системы олимпиад по физике в РФ. Преподаватели факультета составляют третью часть Экспертного Совета по физике РСОШ.

В рамках Фестиваля Науки физическим факультетом и Лабораторией научного творчества школьников МГУ проводится конкурс исследовательских работ МГУ-Intel «Ученые Будущего» (секции «Физика» и «Техника»). С 2015 года совместно с Управлением образования Восточного округа г.Москвы и школой 2031 проводится научно-практическая конференция школьников «Грани познания».

Свой вклад вносит и астрономическое отделение: проводит Московскую олимпиаду школьников по астрономии, готовит команду России к участию в Международной олимпиаде по астрономии и в проведении этой олимпиады.

Для привлечения школьников на факультет необходимо эффективное взаимодействие со школами г. Москвы. Мы проводим в школах лекции об актуальных проблемах современной физики. По заявкам школ мы организуем экскурсии в учебные и научные лаборатории факультета в рамках программы «Нескучные уроки по физике» (25 экскурсий в год, более 400 участников). На факультете проводятся занятия по экспериментальной физике (12 занятий в год, 180 учащихся различных школ). Новшеством 2015 года стал также цикл регулярных занятий практикума для всех физико-математических классов СУНЦ МГУ.



Центр молодежного инновационного творчества

Большое внимание уделяется поощрению и развитию проектных и исследовательских работ школьников. В рам-

Мы благодарны департаменту образования г. Москвы за поддержку нашей работы с одаренными детьми



Экскурсия в лаборатории физического факультета МГУ

лирования. Регулярные курсы Центра посещали 65 школьников, более 100 человек побывали на экскурсиях. Приятно отметить, что почти все они, став выпускниками школ, подавали заявления на физический факультет, а 32 поступили.

Многие школьники приходят на физический факультет после занятий в «Вечерней физической школе», которой много лет руководит доцент С.Б. Рыжиков. Привлекают школьников к нам и готовят их к будущему обучению преподаватели и студенты факультета, которые проводят в школах № 179 и № 1329 семинары по решению олимпиадных задач, практикумы по подготовке к экспериментальным турам Всероссийской олимпиады.

Наши преподаватели традиционно участвуют в проведении сборов кандидатов в команду Москвы на Всероссийскую олимпиаду в пансионате «Жемчужина». Более 30 участников этих сборов ныне являются первокурсниками нашего факультета. В прошедшем году по инициативе президента РФ В.В. Путина в г. Сочи был создан образовательный центр «Сириус», на базе которого преподаватели и студенты факультета проводили занятия по физике с одаренными детьми, учащимися 10-х классов. Будем ожидать их в приемной комиссии в 2016 году.

Подготовку московских школьников к участию в олимпиадах МГУ по физике ведет вечерняя физико-математическая школа «Архимед». По договорам с региональными структурами довузовского образования лекции и занятия по подготовке поступающих на физический факультет проводились и в других городах России: в Чебоксарах, Кисловодске, Сарове, Севастополе, Волгограде и других. Проведена открытая лекция одного из разработчиков заданий ЕГЭ Грибова В.А. на физическом факультете, с интернет-трансляцией из ЦФА.

Считаем важным, чтобы добрые слова о физическом факультете школьники могли бы услышать из уст своих учителей. Поэтому мы поддерживаем регулярное общение с учителями школ, ежегодно проводим «Летние школы учителей физики». Участниками таких школ являются 250 учителей из всех регионов России. Перед ними выступают академики РАН не только с физического факультета, но из Института общей физики РАН и Курчатовского института, проводятся научно-познавательные экскурсии. Это делает летние школы особенно привлекательными для учителей. Сотрудники кафедры общей физики проводят лекции и мастер-классы по методике преподавания физики и подготовке школьников к олимпиадам и творческим конкурсам. Эти мероприятия способствуют развитию школьного физического образования, более широкому использованию учебно-методических комплектов, разработанных преподавателями факультета, что в конечном счете позволяет факультету набирать на 1

и проведение многих совместных мероприятий. Традиционно большой интерес школьников вызывают лекции о новейших достижениях физики в рамках программы «Университетские Субботы». В 2015 году состоялось 7 лекций: проф. Перова Н.С. «Магнетизм вокруг нас», проф. Твердислова В.А. «Зачем физика биологии?» и «Живое и физика (живые системы: великое объединение наук)», доц. Кленова Н.В. «Мир искусственных атомов», проф. Боголюбова А.Н. «Математическое моделирование – третий путь познания», проф. Филимонова Н.Б. «Мехатроника – наука о компьютерном управлении физическими процессами», проф. Константиновой Е.А. «Необычные свойства наночастиц».

При поддержке департамента образования начал работу «Центр молодежного инновационного творчества», в котором школьники выполняют проектные работы и изучают основы 3D-моделирования.



Школьники в лаборатории физического факультета

курс более подготовленных к нашему обучению студентов.

В последние годы широкое развитие в России получила система летних образовательных школ. Сотрудники, аспиранты и студенты факультета проводят занятия в летней научной школе Лаборатории научного творчества МГУ, в летних школах по подготовке к олимпиадам высокого уровня (совместно с Департаментом образования г.Москвы и Центром Педагогического Мастерства). Участники этих школ отличаются высоким уровнем мотивации и впоследствии, поступив на наш факультет, входят в число лучших студентов своего курса.

Для успешного проведения набора на факультет считаем необходимым непрерывное ведение информационно-рекламной и профориентационной работы. В 2015 году было издано за счет факультета и распространено 2 тысячи брошюр рекламного и профориентационного характера, 2,5 тысячи экземпляров мини-брошюр с рассказом о кафедрах физического факультета. Ежегодно издаются справочники «Физика: задачи профильного экзамена и олимпиад для школьников в МГУ» (1000 экз.) и «Олимпиады школьников по физике в МГУ» (1000 экз.) с информацией о проводимых нами олимпиадах, с примерами и подробным разбором заданий. Аналогичные материалы распространяются через интернет.

Подводя итоги прошедшего года, мы твердо убеждены в том, что в нынешних условиях рост числа поступающих на физический факультет может быть только результатом системной работы. По-видимому, мы не имеем возможности останавливаться на том, что уже сделано, необходимо открывать новые формы работы. Поэтому с февраля текущего года запланировано проведение курсов для школьников по компьютерному моделированию физических процессов. Это позволит школьникам почувствовать уровень преподавания математических дисциплин на физическом факультете. Для этого мы привлекаем преподавателей недавно созданного отделения прикладной математики во главе с профессором А.Н. Боголюбовым.

Авторы надеются на поддержку и понимание важности всего комплекса наших мероприятий со стороны коллектива физического факультета.



Школьники на лекции проф. Боголюбова



Поздравляем!



НИКАНОРОВУ Елену Александровну,
доцента кафедры общей физики,
с присуждением премии имени М.В. Ломоносова
за педагогическую деятельность 2015 г.,

а также сотрудников физического факультета,
награжденных почетными званиями
Московского университета за 2015 год!

Почетного звания “Заслуженный профессор Московского университета”
удостоены:

профессор **ВЕДЯЕВ** Анатолий Владимирович
профессор **КАНДИДОВ** Валерий Петрович
профессор **СКИПЕТРОВ** Евгений Павлович
профессор **ЧЕРЕПАШУК** Анатолий Михайлович

Почетного звания “Заслуженный преподаватель Московского университета”
удостоены:

ПОГОЖЕВ Владимир Александрович, доцент кафедры общей физики
РОСТОВСКИЙ Владимир Сергеевич, доцент кафедры квантовой теории
и физики высоких энергий

Почетного звания “Заслуженный научный сотрудник Московского университета”
удостоен:

ЧЕРНЫШ Владимир Савельевич, главный научный сотрудник кафедры
физической электроники

Почетного звания “Заслуженный работник Московского университета”
удостоены:

БУСЛОВА Галина Алексеевна, веее ее специалист отдела кадров
КУРГУЗКИНА Ирина Григорьевна, ведущий экономист планово-финансового отдела
МУСАЕВ Тофик Шахмарданович, ведущий электроник кафедры общей физики

Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ»
© 2016 Физический факультет МГУ

Под ред. Н.Н. Сысоева, В.Н. Задкова,
А.А. Федянина, Н.Б. Барановой

Дизайн и верстка: И.А. Силантьева

Фотограф С.А. Савкин

Подписано в печать 20.01.16 Тираж 400 экз.

Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,
119991, Москва ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «ООО Флайт-арт»