

ДИНАМИКА СВЕТА И ВЕЩЕСТВА: ИТОГИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

В обзоре рассмотрены мировые тенденции развития лазерной физики, молекулярной оптики и фотоникиnanoструктур, в основном за период с середины 90-х по 2005 г.г. Представлены некоторые характерные направления наук данного профиля, культивируемых в ОГУ в эти годы.

Нобелевские премии последних лет, присуждаемые за заслуги в области физики (иногда – химии) красноречиво свидетельствуют о важности, для культуры в целом, такого раздела естествознания, как взаимодействие излучения с веществом (таблицы 1 и 2). Качество экспертизы при отборе кандидатов, несмотря на раздававшуюся иногда критику, остается высоким, поэтому по номинациям Нобелевского комитета, как по некоторым знаковым пунктам, можно отслеживать становление отдельных научных направлений на глобальном уровне. Так, изобретение лазера датировано 1964 годом, и с этого времени была открыта новая эпоха развития цивилизации. Нобелевским лауреатом 1966 года Альфредом Каstлером было открыто явление оптической ориентации парамагнитных атомов, показана возможность исследования спин-решеточной релаксации с помощью магнитооптической методики (эффекта Фарадея). Было установлено существование прямой связи между электронным парамагнитным резонансом и магнитооптическими эффектами. Анализ проявления парамагнитного резонанса в спектрах магнитооптической активности, по сути, послужил основой создания мазеров и лазеров. Наши представления о строении вещества существенно расширились благодаря появлению новых методов оптического зондирования систем, в первую очередь таких, как лазерная спектроскопия (Н. Бломберген и А. Шавлов (США) – премия 1981 г., В.С. Летохов (Россия)), включая многочисленные ее разновидности: спектроскопию бездоплеровского уширения, релеевского и комбинационного рассеяния, лазерного магнитного резонанса, а также внутриволновую лазерную спектроскопию [1-3]. Постоянное повышение информативности разработанных методов нелинейно-оптической спектрохронографии, увеличение ее быстродействия осуществлялось по мере прогресса лазерной техники и технологии в последние десятилетия. Благодаря высокой интенсивности света лазеров, стало возможным наблюдение различных нелинейных оптических явлений. Это позволило приступить к широкомас-

шабному изучению физико-химических свойств вещества и деталей релаксационных процессов в молекулярных системах, используя сверхкороткие импульсы лазерного излучения [4-5]. Как видно из таблицы 1, с 1997 по 2005 г.г. наблюдался «вал» положительных решений Нобелевского комитета в сторону лазерной физики и атомно-молекулярной фотоники.

Нобелевскими лауреатами 1997 г. «за развитие методов охлаждения и пленения атомов с помощью лазерного света» стали Стивен Чу, США, Стенфордский ун-т (Калифорния), Клод Коэн-Таннуджи, Колледж де Франс, Париж, и Уильям Д. Филипс, Национальный институт стандартов и технологий, Гейзерсбург, Мэриленд, США. Нобелевские лауреаты открыли путь к более глубокому пониманию квантового поведения газов при низких температурах [6-8]. Свет, излученный или поглощенный атомами, является не только ценным источником информации о природе окружающего нас мира, но и мощным инструментом воздействия на атомы, позволяющим манипулировать ими, контролировать их различные степени свободы. В работах лауреатов и их коллег было показано [6-8], каким образом можно использовать основные законы сохранения при взаимодействии атомов с фотонами для поляризации атомов, для охлаждения их до низких температур порядка микрокельвина и даже до диапазона нанокельвина. Обзор последних достижений в этой области включает атомные «фонтаны», реализацию новых состояний материи, таких как бозе-энштейновские конденсаты, волны материи и атомные лазеры. В перспективе, открываемой этими новыми результатами, видится создание более точных атомных часов, которые могут использоваться в космической навигации, атомных интерферометров, с помощью которых могут быть выполнены очень тонкие измерения гравитационных сил, атомных лазеров, которые будут востребованы при создании сверхмалых электронных компонентов. В мае 2004 г. в Центральной аудитории им. Р.В. Хохлова физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова состоялась публичная

Естественные науки

Таблица 1. Нобелевские премии последних десятилетий (постлазерная эпоха)
по лазерной физике и атомно-молекулярной фотонике

Год присуждения премии	Область знания	Лауреаты	Формулировка заслуг
1964	физика	Таунс Ч.Х. США, Массачусетс, Технологический институт, Кембридж, Калифорнийский ун-т в Беркли Басов Н.Г., Прохоров А.М., СССР, Москва, ФИАН	«За фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию генераторов и усилителей нового типа – мазеров и лазеров»
1966	физика	Кастлер Альфред, Франция, Парижский университет, национальный центр научных исследований в Париже	«За открытие и развитие оптических методов исследования герцевых колебаний в атомах»
1967	химия	Эйген Манfred, ФРГ, Институт физической химии Макса Планка в Гётtingене Норриш Роналд Джордж Рейфорд, Великобритания, Институт физической химии Кембриджского университета, Портер Джордж, Великобритания, Шеффилдский университет, Королевский институт в Лондоне	«За исследование сверхбыстрых химических реакций с помощью смещения молекулярного равновесия очень коротким импульсом энергии»
1971	физика	Денис Габор, Великобритания, Королевский институт, Лондонского ун-та	«За открытие голограмии»
1981	физика	Николас Бломберген, США, Гарвардский ун-т в Кембридже (Массачусетс) Шавлов Артур Леонард, США, Стенфордский ун-т (Калифорния) Зигбан Кай Мянне, Швеция, Упсальский университет, Институт физики в Упсале	«За вклад в развитие лазерной спектроскопии» «За вклад в развитие электронной спектроскопии»
1997	физика	Стивен Чу, США, Стенфордский ун-т (Калифорния), Клод Коэн-Таннуджи, Колледж де Франс, Париж Уильям Д. Филипс, Национальный институт стандартов и технологий, Гейзерсбург, Мэриленд, США	«За развитие методов охлаждения и пленения атомов с помощью лазерного света»
1999	химия	Ахмед Зивейл, США, Калифорнийский технологический институт (Пасадена)	«За исследование переходных состояний в химических реакциях с использованием фемтосекундной спектроскопии»
2000	физика	Жорес И. Алферов, Россия, С.-Петербург Физ.-тех. институт им. А.Ф. Иоффе	«За развитие полупроводниковых гетероструктур для высокоскоростной и оптоэлектроники»
2001	Физика	Эрик Корнелл, США, Национальный институт стандартов и технологий (Боулдер, Колорадо), Вольфганг Кеттерле, США, Массачусетс, Технологический институт, Кембридж и Карл Виман, США, Колорадский университет (Боулдер, Колорадо)	«за достижение <u>Бозе-Эйнштейновской конденсации</u> в разреженных газах <u>щелочных элементов</u> , и за ранние фундаментальные исследования свойств конденсатов».
2005	Физика	Рой Глаубер, США, Гарвард Джон Холл, США, Колорадский университет Теодор Хэнш, Германия, Институт квантовой оптики имени Макса Планка	«за вклад в квантовую теорию оптической когерентности», «за развитие прецизионной лазерной спектроскопии, в частности – за методы комбинационной лазерной спектроскопии в оптическом диапазоне»

Таблица 2. Нобелевские премии последних десятилетий (постлазерная эпоха)

Год присуждения премии	Область знания	Лауреаты	Формулировка заслуг
1966	химия	Малликен Роберт Сандерсон. США, Чикагский университет	«За фундаментальную работу по химическим связям и электронной структуре молекул, проведенную с помощью метода молекулярных орбиталей»
1971	химия	Герцберг Герхард. Канада, Национальный исследовательский совет в Оттаве	«В признание вклада в познание электронной структуры и геометрии молекул, особенно свободных радикалов»
1998	химия	Вальтер Кон, США, Калифорнийский ун-т, Санта-Барбара Джон А. Попл, США, Северо-западный ун-т.	«За развитие теории функционала плотности» «За разработку вычислительных методов в квантовой химии»

лекция нобелевского лауреата по физике 1997 г. Клода Коэн-Таннуджи на тему «На пути от оптической накачки к волнам материи». Символичен (но не случаен!) выбор аудитории для именитого лектора, поскольку имя акад. Р.В. Хохлова физики связывают, в первую очередь, с лазерной и нелинейно-оптической тематикой.

Наиболее драматический прорыв в технике и физике импульсных лазеров произошел в начале 1990-х гг., когда впервые в истории науки был достигнут «фемтосекундный рубеж» длительности генерации лазерных импульсов [5]. Оптические «фс»-импульсы имеют под своей огибающей всего несколько осцилляций электромагнитного поля (период колебаний световой волны 1-3 фс). Ахмед Зивейл (*Zewail A.H.*) использовал импульсные фемтосекундные лазеры в экспериментах по исследованию динамики химических реакций в газовой фазе [4, 9]. Следить за сверхбыстрыми движениями атомов в ходе элементарного акта химической реакции (на временной шкале $\sim 10^{-13}$ с) стало возможным исключительно благодаря прогрессу в области лазерной физики. Использование новых лазерных методов намного продвинуло понимание элементарных стадий простых химических реакций в газовой фазе. Лазеры в молекулярной физике и фотонике используются для передачи молекуле точно дозированных количеств энергии, для ее диссоциации или для зондирования состояния реагентов и продуктов с помощью известных спектроскопических методов поглощения, испускания и ионизации [9]. Распределения по энергетическим состояниям продуктов для ряда реакций устанавливаются на основе измерений лазероиндуцированной флуоресценции и хемилюминесценции.

Для достижения границ диапазона «химической шкалы времен» потребовалось более 20 лет совершенствования технологии создания сверхбыстрых лазеров. Сегодняшний уровень достижений в этой сфере характеризуется появлением источников, генерирующих импульсы продолжительностью в несколько фемтосекунд (10^{-15} с). Основной интерес для химической динамики представляют процессы перестройки ядер на поверхности потенциальной энергии (адиабатический электронный терм бимолекулярного комплекса), характеризующей реакцию. Движения атомов происходят на масштабе времен, соответствующих периоду молекулярных колебаний, т. е. порядка 10-1000 фс. Таким образом, требованиям задачи зонди-

рования динамики ядер в реальном времени отвечает именно фемтосекундный лазер.

При упомянутом временном разрешении сверхбыстрых лазеров открывается возможность непосредственного наблюдения переходного состояния комплекса реагентов. Дальнейшие исследования динамики элементарного акта будут связаны и с более сложными реакциями в молекулярных кластерах и на поверхности конденсированной фазы. Это потребует и более точных данных о поверхностях потенциальной энергии и развития методики расчета динамики процессов на этих поверхностях [10-11]. Таким образом, изучение с помощью импульсного лазерного зондирования динамики молекулярных реакций – одной из наиболее фундаментальных проблем химической физики – достигает сейчас впечатляющего уровня. Экспериментаторы и теоретики объединяют усилия для того, чтобы, наконец, познать эфемерное переходное состояние – ключевое понятие химической кинетики.

По мнению А. Зивейла [2], при использовании еще более короткоимпульсных лазеров (хотя в оптическом диапазоне частот это уже неосуществимо! [5]) возможно обнаружение новых интересных молекулярных свойств. Видимо это будет связано со спецификой изменения во времени электронной плотности супермолекулярного комплекса [10-11], подвергающегося химической трансформации (табл. 2). В этом случае проблема уже будет заключаться в обеспечении временного разрешения электронных видов движения, а не адиабатически медленного перемещения ядер.

Акад. Ж. И. Алферовым (нобелевская премия по физике 2000 г.) было открыто явление сверхинжекции в гетероструктурах и показано, что в такого рода полупроводниковых системах можно принципиально по-новому управлять электронными и световыми потоками [12]. За последние годы членами его научной группы опубликовано несколько десятков статей по гетероструктурам нового типа – квантовым точкам, или, как их еще называют, «искусственным атомам», при конструировании которых внутри полупроводниковой структуры создается кластер атомов, иного химического состава, с возможностью варьирования его размеров и других параметров. В последние годы в институте Ж.И. Алферова разработаны технологии создания нового поколения квантово-размерных инжекционных лазеров на короткопериод-

ных сверхрешетках с рекордно низкой величиной пороговой плотности тока; созданы концепции и технологии получения полупроводниковых наноструктур с размерным квантованием в двух и трех измерениях; проведены эксперименты, демонстрирующие уникальность физических свойств структур на основе квантовых точек.

Нобелевской премии 2001 года были удостоены и работы – оригинальные эксперименты – Эрика А. Корнелла, США, Национальный институт стандартов и технологий (Боулдер, Колорадо), Вольфганга Кеттерле, США, Массачусетс, Технологический институт, Кембридж и Карла Вимана, США, Колорадский университет (Боулдер, Колорадо). Главной заслугой этих физиков является постановка тонких экспериментов по получению бозе-эйнштейновского конденсата (БЭК) атомов щелочных металлов (*M.H. Anderson et al., Science 269, 198 (1995)* и *W. Ketterle et al., Phys. Rev. Lett. 75, 3969 (1995)*). Интересно, что для этого были использованы многие из ключевых инженерных идей по методике охлаждения газов, разработанные ранее С.Чу, К. Коэн-Таннуджи и В.Филлипсом (Нобелевская премия 1997 года) [6-8]. Впоследствии Корнелл и Виман получили чистый конденсат примерно из 2000 атомов рубидия при температуре 20 нанокельвинов [13]. Кеттерле выполнил подобные эксперименты с атомами натрия независимо от Корнелла и Вимана. Он сумел получить конденсаты с большим числом атомов, что дало возможность более детально их исследования. Используя два отдельных, взаимопроникающих конденсата, он получил достаточно отчетливую интерференционную картину, свидетельствующую о когерентных свойствах системы, состоящей из большого числа атомов [14]. Кеттерле удалось наблюдать струйку из малых капель конденсата, падающих под действием гравитационных сил. Такую струйку можно считать аналогом лазерного луча, но вместо фотонов в нем – атомы БЭК [14].

Весьма важным было не только получение конденсата, но и его идентификация и визуализация. Методика таких наблюдений также была развита и описана в работах лауреатов [13-14]. «Фотографии» бозе-конденсата явно свидетельствовали об изначальном фазово-когерентном квантовом состоянии всех частей газового облака. Первая демонстрация работы атомного лазера была дана опять же В. Кеттерле и его сотрудниками. В работе 1997 года (*M.-*

O.Mewes et al., Phys.Rev.Lett. 78, 582 (1997)) они показали, как именно надо воздействовать на конденсат, чтобы из него стал «выливаться» пучок атомов. Таким образом, всего за несколько лет атомные лазеры превратились из гипотетических устройств в действующие установки. Одно из последних достижений в этой области – атомный лазер непрерывной генерации с длительностью импульса 0.1 секунды (*I. Bloch, T.W. Haensch and T. Esslinger; Phys. Rev. Lett. 82, 3008 (1999)*).

По-видимому, вскоре предельно узкий, монохроматичный, стабильный и когерентный пучок вещества будет стандартным прибором исследований во многих лабораториях мира. Появление источников когерентных материальных волн может сыграть большую роль для развития атомной интерферометрии, атомной голограмии и пр. Имея бозе-конденсат атомов, с помощью магнитного поля определенной напряженности можно заставить часть атомов объединиться в молекулы. Получается двойной конденсат: конденсат атомов и конденсат молекул, которые взаимопроникают друг в друга и находятся в динамическом равновесии. Открытие Э. Корнелла, В. Кеттерле и К. Вимана инициировали беспребойную череду фундаментальных и прикладных исследований. За неполный 2001 год число публикаций по бозе-конденсатам превысило полторы сотни статей.

Наконец, в этом году (2005) лауреатами Нобелевской премии по физике стали американские физики Рой Глаубер и Джон Холл, а также немецкий исследователь Теодор Хэнш. Первому из них премия присуждена с формулировкой «за вклад в квантовую теорию оптической когерентности», двум остальным – «за развитие прецизионной лазерной спектроскопии, в частности – за методы комбинационной лазерной спектроскопии в оптическом диапазоне». По мнению экспертов, методы новых лауреатов применимы для самых точных из возможных физических измерений. Так, с их помощью можно генерировать «самые монохроматические» электромагнитные волны, а также следить за тем, не изменяются ли фундаментальные физические постоянные с течением времени. 80-летний Рой Глаубер – профессор Гарварда, 71-летний Джон Холл – сотрудник Колорадского университета и Национального института стандартов США, а 64-летний Теодор Хэнш работает в Институте квантовой оптики имени Макса Планка.

Вклад отечественных школ

Участие в развитии данного направления физиков СССР и России все годы, начиная с 1964, было достаточно значимым, а в ряде случаев и определяющим (Таблица 1, [1-3, 5, 12, 18-26]). Помимо нобелевских лауреатов последних десятилетий к лазерно-оптической тематике были причастны академики С.И. Вавилов (физическая оптика, фотолюминесценция, изучение природы света), А.Н. Теренин (молекулярная фотоника и фотохимия), Р.В. Хохлов (квантовая электроника, нелинейная оптика), определившие развитие ключевых разделов этой науки на многие годы. Трудами чл. корр. РАН В.С. Летохова (нелинейная лазерная спектроскопия и селективное детектирование одиночных атомов и молекул), чл. корр. РАН М.Д. Галанина и проф. В.Л. Ермолова (безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения), проф. Р.И. Персонова (селективная спектроскопия сложных молекул), профессоров В.Л. и Л.В. Левшиных (молекулярная люминесценция) и многих других известных ученых нашей страны внесен весомый вклад в развитие лазерно-оптического направления.

Развитие работ по нелинейно-оптической сверхбыстро действующей спектрохронографии протекало в условиях остройшей международной конкуренции [5]. Фундаментальный задел в этой области создан научной школой Московского университета по нелинейной оптике – школой Р.В. Хохлова, С.А. Ахманова и Н.И. Коротеева. Методы нелинейно-оптической диагностики сверхбыстрых процессов в веществе идейно основываются на принципах когерентной активной спектроскопии рассеяния и поглощения света. Для случаев квазистационарного возбуждения и зондирования они последовательно изложены в монографии С.А. Ахманова и Н.И. Коротеева «Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света» (М.: наука, 1981), а при сверхбыстрой инициации они сформулированы в цикле работ проф. Коротеева, представленных на Ломоносовских чтениях 1996 г., посвященных 70-летию акад. Р.В. Хохлова.

Один из первых в мире нелинейно-оптических спектрометров с фемтосекундным разрешением был создан проф. Н.И. Коротеевым с сотрудниками в начале 1990-х г.г. С помощью этого спектрометра были выполнены пионерс-

кие исследования первых стадий лазероиндированных трансформаций приповерхностных слоев кристалла GaAs, позволившие сделать вывод о наличии сверхбыстрых (~ 10 фс – меньше обратной частоты оптических фононов) стадий нетеплового разупорядочения кристаллической решетки («холодное плавление») [5]. В 1995 г. этот результат был подтвержден в экспериментах группы фон дер Линде из университета Эссена (ФРГ). Не имел аналогов в мире и созданный в 1991 г. в МГУ лазерный микроспектроаналитический комплекс с пикосекундным временным разрешением и микронным пространственным разрешением для изучения сверхбыстрых фотоиндированных процессов в молекулах фотосенсилизаторов-красителей, внедренных в живые клетки. Этот комплекс представлял собой гибрид спектрометра комбинационного рассеяния, флуоресцентного спектрометра с пикосекундным лазерным возбуждением и микроскопа, снабженный дополнительно системой коррелированного по времени счета отдельных фотонов с разрешением в десятки пикосекунд.

В последнее десятилетие достигнуты значительные успехи в области оптической когерентной томографии [15-16], обеспечивающей микрометровое разрешение при восстановлении томографических изображений, представляющих трехмерную внутреннюю микроструктуру неоднородных объектов и сред на глубине проникновения оптического излучения со значительным диффузным рассеянием. Результаты применения методов интерферометрии малой когерентности для восстановления трехмерной структуры рассеивающих сред в биомедицине были опубликованы в 1991 г. Исследования проводились в Массачусетском технологическом институте (Кембридж, США). В 1994 г. разработанная технология была передана зарубежному подразделению фирмы Carl Zeiss, Inc. в Дублине, и в 1996 г. была создана первая серийная система, предназначенная для офтальмологической диагностики глаукомы методом прямого наблюдения состояния зрительного нерва и сетчатки глаза. Эта технология успешно используется в других важных областях медицины. В российских университетах и НИИ исследования по данному направлению ведутся в МГУ, СГУ, Институте прикладной физики РАН в Нижнем Новгороде и др.

Предельное разрешение обычной оптики определяется дифракционным пределом и не

может стать лучше, чем половина длины волны в среде. Создание просвечивающего электронного микроскопа (1932) лишь частично решило данную проблему, из-за высокогенеретического воздействия, которому подвергается образец. В последние десятилетия, благодаря появлению новых изображающих систем, основанных на использовании наноразмерных зондов для детектирования нерадиационных полей: сканирующего туннельного микроскопа, атомно-силового микроскопа (АСМ) и сканирующего ближнепольного оптического микроскопа (СБОМ) был сделан важный шаг в исследовании структур со сверхвысоким пространственным разрешением [17]. Преодоление дифракционного предела в СБОМ осуществляется за счет сканирования рельефа поверхности источником оптического излучения субволновой протяженности на малом расстоянии от объекта (в ближнем поле). При этом используется атомно-силовой принцип удержания зонда в фиксированной позиции, что позволяет одновременно получать СБОМ и АСМ-изображения. СБОМ позволяет также применять методы оптической спектроскопии для локальных исследований микробиологических объектов, селективно воздействовать на фрагменты биоструктур, модифицировать поверхности при сверхплотной записи информации и нанолитографии. Особый интерес представляет сканирующий безапертурный интерференционный микроскоп (СБИМ), который позволяет получать изображение с разрешением до 1 нм. Пока он не нашел широкого применения из-за сложной системы выделения сигнала, однако результаты, полученные с его помощью, впечатляют. Развитие ближнепольной оптики стало причиной возникновения новых областей научных исследований – локальной спектроскопии и локальной модификации поверхности с разрешением 30-100 нм. Сканирующая ближнепольная оптическая спектроскопия (СБОС) предоставляет уникальные возможности для исследования полупроводниковых нанообъектов: квантовых ям, нитей и точек. Иногда этот метод используется в сочетании с пико- и фемтосекундной [4-5] техникой. Исследуются энергетические спектры одиночных квантовых нанообъектов, эмиссия и транспорт экситонов, спектральное распределение мод излучения в полупроводниковых лазерах и поверхностные плазмоны.

В этом недавно сформировавшемся направлении – нанооптике – свет рассматривается в

областях, существенно меньших длины волны [17-18]. Для ее развития весьма важными оказались полученные ранее сведения о взаимодействии лазерного излучения с молекулами, кластерами иnanoструктурами. Отклик вещества на свет, локализованный в nanoобласти, существенно изменяется по сравнению со случаем супермикронных систем. Создание сканирующей микроскопии ближнего поля (СБОМ) явилось первым серьезным достижением нанооптики в последние десятилетия. СБОМ имеет предел пространственного разрешения ~ 30 нм в «традиционном» ее использовании. В группе же В.С. Летохова (ИС РАН, Троицк) предложено увеличить пространственное разрешение ближнепольных микроскопов до 0,5-5 нм используя явление безызлучательной донор-акцепторной передачи энергии электронного возбуждения через малое отверстие зонда-nanoиглы, с последующим наблюдением флуоресценции [18-21]. Было показано, что характеристики резонансной передачи энергии существенно модифицируются вблизи nanoструктур (верхушки nanoиглы). Кроме того, наносфера существенно повышает вероятность ранее запрещенного квадрупольного перехода по сравнению с обычно проявляющим себя дипольным переходом.

В группе В.М. Аграновича (ИС РАН, Троицк) было установлено, что в nanoструктурах, содержащих органические и полупроводниковые квантовые ямы, резонансное взаимодействие между экситонными состояниями в квантовых ямах приводит к гибридизации экситонных состояний Френкеля и Ванье-Мотта [22-23]. Новые экситонные состояния могут, как экситоны Френкеля, обладать большими значениями сил осцилляторов перехода и в то же время, как экситоны Ванье-Мотта, – большими резонансными оптическими нелинейностями. В результате эти нелинейности, по сравнению с нелинейностями «обычной» полупроводниковой квантовой ямы возрастают в сотни раз. Исследован необратимый перенос энергии от экситона в полупроводниковой квантовой яме на экситонные состояния слоя органических молекул. Оказалось, что при размерах квантовой ямы и барьера порядка ~ 100 Å перенос энергии происходит намного быстрее чемdezактивируются экситоны в полупроводниковой квантовой яме.

За прошедшие годы было выполнено большое количество работ по исследованию свойств

примесных неупорядоченных твердых растворов с применением методов селективной спектроскопии [24-26]. Был разработан новый метод изучения конденсированных систем – спектроскопия одиночных молекул [25-26], позволяющий регистрировать сигналы одиночных хромофорных центров, используемых в качестве спектрального микрозонда. Удалось установить, что динамика аморфных сред в низкотемпературной области – ниже 8-10 К – определяется низкоэнергетическими возбуждениями следующего типа: (1) двухуровневыми системами, связанными с локальными туннельными переходами групп атомов или молекул между состояниями в типичном для аморфика двумяном потенциале; (2) длинноволновыми акустическими фононами; (3) квазилокальными низкочастотными колебательными модами, характерными для систем с нарушениями трансляционной симметрии.

Развитие физики в ОГУ

Предыстория появления группы физиков, занимающихся вопросами лазерной спектроскопии и молекулярной фотоники в ОГУ такова. Исследования оптических и магнитных свойств триплетных электронных состояний органических молекул удалось организовать двум профессорам Карагандинского университета: Б.Ф. Минаеву, физику-теоретику, крупному специалисту по квантовой химии (ныне проживает в г. Черкассы, Украина), и Г.А. Кецле (ныне – в г. Дрезден, Германия) – экспериментатору, прошедшему школу молекулярной оптики и химической физики МГУ, под руководством проф. Л.В. Левшина. Совмещение теоретического и экспериментального методов исследования обеспечило быстрый успех: появились многочисленные ученики и последователи, образовались группы специалистов, объединенных общей целью и тематикой исследований. В результате сотрудничества в 1983 г. вышла в свет совместная монография лидеров групп «Оптические и магнитные свойства триплетного состояния», которая получила широкое распространение и положительные отзывы «коллег по цеху» из разных республик. Вскоре пришла и известность. Б.Ф. Минаев защитил докторскую диссертацию в Москве (Институт химической физики АН СССР) в 1983 г. по теме «Теоретический анализ и прогнозирование эффектов спин-орбитального взаимодействия в молекулярной спектроскопии и химической

кинетике». В 1990 году диссертацию доктора физ.-мат. наук по специальности «оптика» защитил Г.А. Кецле в МГУ им. М.В. Ломоносова на тему «Спин-селективные фотопроцессы в растворах органических люминофоров». Было проведено несколько масштабных научных мероприятий, включая всесоюзную школу по квантовой химии (1982), республиканскую конференцию по фотофизике и фотохимии молекулярного кислорода (1986) и всесоюзную конференцию по молекулярной люминесценции (Боровое, 1989). Так, в оргкомитете последней конференции (рис. 1) наряду с известнейшими учеными акад. Н.А. Борисевичем, чл. корр. М.Д. Галаниным, проф. Н.Д. Жевандровым, проф. В.Л. Ермолаевым и проф. Л.В. Левшиным фигурировали имена Г.А. Кецле, М.Г. Кучеренко и В.В. Брюханова (впоследствии – профессоров ОГУ).

В Оренбургском государственном университете работы по направлению «Фотоника атомных и молекулярных систем» начаты представителями этой группы в 1994 г. Были продолжены исследования спин-орбитальных эффектов в химической физике электрон-возбужденных молекул, эффектов спинового катализа на основе усовершенствованного программно-вычислительного арсенала современной квантовой химии (ЦЛИБФ, кафедра химии). Проводятся эксперименты по лазерному инициированию быстропротекающих процессов в молекулярных системах в жидких растворах, на поверхностях твердых сорбентов и в объемных прозрачных матрицах [27-73].

В широком смысле образовавшаяся в ОГУ научная школа связана с несколькими научными школами МГУ им. М.В. Ломоносова и ведущих физических институтов РАН. В первую очередь это школа молекулярной люминесценции проф. Л.В. Левшина и проф. А.М. Салецкого (Москва, МГУ), которая в разные годы оказывала существенную поддержку физикам Оренбургского университета. Другие научные образования, известные не только у нас в стране, но и далеко за ее пределами – школа нелинейной оптики и лазерной спектроскопии Р.В. Хохлова – С.А. Ахманова – Н.И. Коротеева (МГУ им. М.В. Ломоносова) [2-3,5], школа М.Д. Галанина – Н.Д. Жевандрова и нынешнего ее представителя проф. А.Г. Витухновского (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва), школа проф. В.Л. Ермолаева (ГОИ РАН, г. С.-Петербург), школа акад. А.Л. Бучат-

ченко (ИПХФ РАН, п. Черноголовка, Московской обл.), причем этот перечень ведущих научных коллективов России, с которыми поддерживает связь группа из ОГУ, далеко не полон.

В более детальной дифференциации тематика экспериментальных групп нашего университета включает в себя изучение свойств органических молекул в триплетных электронных состояниях, в конденсированной фазе и системах с различной надмолекулярной структурой. Научная школа «Лазерная кинетическая спектроскопия и спектрофлуориметрия нелинейных и спин-селективных фотопроцессов в конденсированных молекулярных системах и наноструктурах» охватывает большинство развивающихся в настоящее время в ОГУ направлений, связанных с применением в химической физике лазерных и оптоэлектронных методов исследования.

В 1995 году в Минске, Институте физики АН Беларуси диссертацию доктора физ-мат. наук по специальности «оптика» на тему «Проявление динамики обменно–резонансных взаимодействий в трансформации энергии возбуждения органолюминофоров в конденсированных средах» защитил доцент ОГУ В.В. Брюханов (ныне – проф. Калининградского тех. университета).

В 1998 году диссертацию доктора физ-мат. наук по двум специальностям («лазерная физика» и «оптика») на тему «Кинетика нелинейных

фотопроцессов в конденсированных молекулярных системах» защитил в Москве, в МГУ им. М.В. Ломоносова зав. кафедрой радиофизики и электроники ОГУ М.Г. Кучеренко.

В 1999 году исследовательская группа физиков ОГУ получила грант Российского фонда фундаментальных исследований для проведения работ по проекту «Исследование фотосенсибилизированной генерации синглетного кислорода и управление процессами преобразования энергии возбуждения в однородных и структурированных средах, а также на поверхности».

В 1999 году по инициативе ректора ОГУ проф. В.А. Бондаренко и первого проректора ОГУ проф. Г.А. Кецле на базе исследовательской лаборатории кафедры радиофизики и электроники был создан научно-исследовательский институт микро- и нанотехнологий. О претенциозности планов его сотрудников можно было судить по названию одного из подразделений: «Отдел стратегических инициатив в нанотехнологиях» (позднее – отдел нелинейной динамики наноструктур). В 2003 году на базе этого отдела был организован Центр лазерной и информационной биофизики (ЦЛИБФ) – как самостоятельное структурное подразделение ОГУ. Образование новых научных подразделений в университете, их становление и развитие – несомненная заслуга руководителя вуза, д.т.н., профессора, Заслуженного деятеля науки РФ Виктора Ана-



Рисунок 1. Оргкомитет Всесоюзной конференции по молекулярной люминесценции (1989 г., Боровое). Слева направо: доц. М.Г. Кучеренко, проф. В.Л. Ермоляев, проф. Г.А. Кецле, проф. Н.Д. Жевандров, проф. Л.В. Левшин, акад. Н.А. Борисевич, акад. Каз. ССР З.М. Мулдахметов, доц. В.В. Брюханов

тольевича Бондаренко, единодушно избранного президентом ОГУ по завершению его деятельности на посту ректора в 2006 году.

В 2003 г. в диссертационном совете МГУ им. М.В. Ломоносова диссертацию доктора физ.-мат. наук по специальности «оптика» на тему «Фотопроцессы с участием высоких электронно-возбужденных состояний многоатомных молекул» защитил С.Н. Летута.

В течение 10 лет, с 1995 г. в ОГУ непрерывно действует междисциплинарный научный семинар проф. М.Г. Кучеренко «Динамика нелинейных систем в лазерной, химической и биологической физике».

Таким образом, научная школа лазерной физики и молекулярной фотоники ОГУ «**Кинетическая спектроскопия нелинейных и спин-селективных фотопроцессов в конденсированных молекулярных системах**», основанная проф. Г.А. Кецле, получила развитие в виде становления двух новых направлений: «**Лазероиндцированные процессы в природных и синтезированныхnanoструктурах**» – (рук. д.ф.-м.н., проф. Кучеренко М.Г.) и «**Фотоника сложных молекулярных систем**» (рук. д.ф.-м.н., проф. Летута С.Н.), лежащих в общем русле школы. Активные исследования аналитического профиля выполнялись на кафедре химии под руководством ее заведующего, безвременно ушедшего из жизни (2005) проф. А.В. Стряпкова, который инициировал, также, проведение квантово-химических расчетов на базе кафедры.

Новые технологии, которые могут быть созданы в результате проводимых в университете исследований, позволяют осуществлять адресные операции на субмикронной шкале расстояний и в сверхмалые промежутки времени. Для этого требуется развитие представлений о свойствах nanoструктур и специфике протекания молекулярных процессов на мезоскопическом уровне. На протяжении нескольких последних лет на кафедрах физического и естественнонаучного факультетов ОГУ, некоторых кафедрах технического профиля, а также в лабораториях ЦЛИБФ и ИМНТ университета проводятся систематические исследования физико-химических процессов в ультрадисперсных средах и nanoструктурах природного (в том числе – биологического) и синтетического происхождения [49-73]. Полученные результаты прямо указывают на необходимость создания расширенной программы исследований по данному направлению. Как теперь уже стало широко

известно, многие известные закономерности перестают быть справедливыми, когда речь идет о процессах в nanoсистемах. Возникает новая физика нанопроцессов и явлений, которая присуща лишь объектам такого масштаба.

Исследовательские проекты в русле развиваемого направления ОГУ неоднократно выставлялись на конкурсы Минобразования и науки РФ, РФФИ, других федеральных структур. Ряд из них получил одобрение экспертов и финансовую поддержку посредством включения в государственные программы «Университеты России», «Фундаментальные исследования по естественным наукам», РФФИ и др. фондов и организаций.

В ходе работы над проектами в ОГУ были решены задачи об индуцированной колебательными переходами десорбции возбужденных и релаксированных молекул кислорода из поверхностного монослоя амфи菲尔ного соединения на твердой подложке [51, 57]; построена кинетическая корреляционная теория фотопрекращений в nanoструктурах и на поверхности, учитывающая эффекты флуктуаций числа реагентов в порах ультрадисперсной матрицы и влияние потенциального поля стенок полости (или поверхности) на транспорт молекул мобильного реагента [39, 41, 49, 54, 70]; создан ряд математических моделей, адресованных лазероиндцированным процессам в мономолекулярных слоях [59-60, 72]; разработана методика голограм-

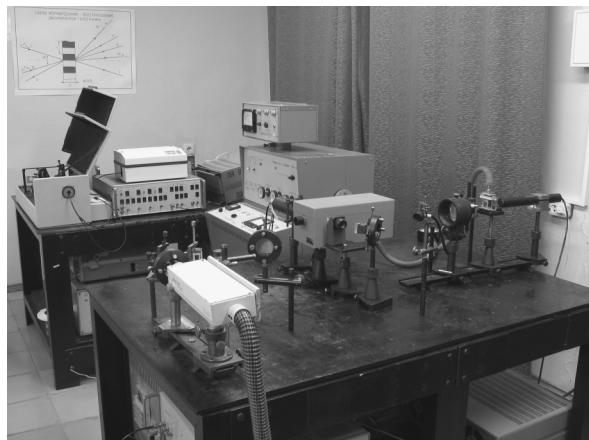


Рисунок 2. Автоматизированный лазерный кинетический спектрометр-спектрофлуориметр микросекундного разрешения на базе твердотельного неодимового лазера в Центре лазерной и информационной биофизики ОГУ.

Модифицированный вариант установки позволяет производить запись нестационарных голограмм на изучаемых молекулярных структурах. Обеспечено проведение измерений в режиме вакуумирования образцов.

фического мониторинга лазерной деструкции молекул ДНК [62, 71] и исследуется проблема голографической записи в динамических макромолекулярных структурах [64-66]. Результаты поисковых исследований фундаментальной направленности будут положены в основу работы миниатюрных датчиков нового поколения [44, 56], а в перспективе дадут начало для развития сверхсовременных технологий [45, 55].

В результате проведения основных экспериментов по измерению сигналов люминесценции малых молекулярных зондов в растворах обнаружено влияние растворяемых полимерных добавок (как синтетических, так и биологических макромолекул) на передачу энергии электронного возбуждения между донорно-акцепторными компонентами композитного зонда. Обнаруженный эффектложен в основу метода люминесцентной диагностики структуры и динамического состояния макромолекулярных клубков и глобул в растворах. Развиваемый метод использовался для регистрации изменений, происходящих с макромолекулами в растворах после их облучения лазерным излучением различной мощности при различных временах экспозиции, а также при воздействии на систему оптическим излучением некогерентных источников определенного спектрально-го состава, включая ультрафиолетовый диапазон частот. Зафиксировано влияние режимов

фотообработки на характер сигналов люминесцентных зондов. Для целей детектирования использованы методы фототермической спектроскопии (с лазерным зондированием), а также запись нестационарных голографических решеток в растворах.

Изучено взаимодействие электронно-возбужденных молекул красителя с молекулами кислорода в потенциальном поле стенок сферической нанопоры с учетом пространственной неоднородности распределения диффундирующих по поре молекул кислорода. Показано, что возникающие эффекты наиболее ярко проявляются в порах нанометрового и субнанометрового масштаба.

В ходе реализации двух проектов РФФИ (проект РФФИ № 99-03-32264а и № 02-03-96467 – р2002_урал) были определены характеристики процесса генерации синглетного кислорода при лазерном воздействии на молекулы органических соединений, внедренных в структурированные (пористые) системы, пленки поверхностно-активных веществ на твердых подложках, поверхности сорбентов и коллоидные растворы, включая растворы биополимеров. Произведен анализ характеристических параметров регистрируемого свечения и осуществлен выбор тех из них, которые наиболее чувствительны к изменению концентрации O_2 .

**Директор ЦЛИБФ,
член редколлегии журнала «Вестник ОГУ»,
д.ф.-м.н., проф. КУЧЕРЕНКО М.Г.**

Список использованной литературы:

1. Летохов В.С. Лазерное селективное детектирование единичных атомов // В кн.: Применение лазеров в спектроскопии и фотохимии. Под ред. К. Мура. (Chemical and Biochemical Applications of Lasers. Edited by C. Bradley Moore. V.5. Berkeley. California). М.: Мир. 1983. – С. 9-44.
2. Коротеев Н.И. New schemes for nonlinear optical spectroscopy of solutions of chiral biological macromolecules // ЯЕТР. 1994. – V. 79. – N.5. – P. 681-690.
3. Коротеев Н.И. Когерентная спектроскопия изотропных нецентросимметричных сред на основе измерения частотной дисперсии нелинейной оптической активности // Кvantовая электроника. 1994. – Т. 21. – №11. – С. 1063-1070.
4. Барис М. Дж., Лиу В.К., Зивейл А.Х. Нелинейная лазерная спектроскопия и дефизировка молекул. Теория и эксперимент // В кн.: Спектроскопия и динамика возбуждений в конденсированных молекулярных системах. Под ред. В.М. Аграновича и Р.М. Хохтрассера. М.: Наука. 1987. С. 170-262.
5. Коротеев Н.И. Лазерная фемтосекундная спектрохронография. Разработка и применение лазерной нелинейно-оптической структурно-чувствительной спектрохронографии сверхбыстрых процессов в веществе в диапазоне длительностей от наносекунд до фемтосекунд // Вестник Московского ун-та. Сер. 3. Физика и астрономия. 1996. – №6. – С. 6-17.
6. Чу С. Управление нейтральными частицами // Успехи физических наук. 1999. – Т. 169. – №3. – С. 274-291.
7. Коэн-Таннуджи К. Управление атомами с помощью фотонов // Успехи физических наук. 1999. – Т. 169. – №3. – С. 292-304.
8. Филипс У.Д. Лазерное охлаждение и пленение нейтральных атомов // Успехи физических наук. 1999. – Т. 169. – №3. – С. 292-304.
9. Грюбель М., Зивейл А.Х. Сверхбыстрая динамика химических реакций // Успехи физических наук. 1991. – Т. 161. – № 3. С. 69-87.
10. Кон В. Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности // Успехи физических наук. 2002. – Т. 172. – №3. – С. 336-348.
11. Попл Д.А. Квантово-химические модели // Успехи физических наук. 2002. – Т. 172. – №3. – С. 349-356.
12. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологиях // Успехи физических наук. 2002. – Т. 172. – №9. – С. 1068-1086.
13. Корнелл Э.А., Виман К.Э. Бозе-эйнштейновская конденсация в разреженном газе. Первые 70 лет и несколько последних экспериментов // Успехи физических наук. 2003. – Т. 173. – №12. – С. 1320-1338.

14. Кеттерле В. Когда атомы ведут себя как волны. Бозе-эйнштейновская конденсация и атомный лазер // Успехи физических наук. 2003. – Т. 173. – №12. – С. 1339-1358.
15. Гуров И.П. Оптическая когерентная томография: принципы, проблемы и перспективы // Проблемы когерентной и нелинейной оптики. Сб. статей под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. С.-Петербург: СПбГУ ИТМО. 2004. – 276 с.
16. Тычинский В.П. Когерентная фазовая микроскопия внутриклеточных процессов // Успехи физических наук. 2001. – Т. 171. – № 6. – С. 650-662.
17. Вейко В.П., Вознесенская Н.Б., Воронин Ю.М., Дряхлушкин В.Ф. Ближнепольные оптические зонды: методы изготовления, основные характеристики и контроль аппаратурой // Проблемы когерентной и нелинейной оптики. Сб. статей под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. С.-Петербург: СПбГУ ИТМО. 2004. – 276 с.
18. Летохов В.С. Проблемы нанооптики. Успехи физических наук. 1999. -Т. 169. -№3. -С. 345-346.
19. Секацкий С.К., Летохов В.С. Сканирующая оптическая микроскопия нанометрового разрешения с резонансным возбуждением флуоресценции образцов от одноатомного возбужденного центра // Письма в ЖЭТФ. 1996. – Т. 63. – №5. – С. 311-315.
20. Секацкий С.К., Летохов В.С. Наблюдение одиночного лазерно-воздушенного центра на острое кристаллической иглы / // Письма в ЖЭТФ. 1997. – Т. 65. – №6. – С. 441-444.
21. Лапшин Д.А., Решетов В.Н., Секацкий С.К., Летохов В.С. Контактная сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля // Письма в ЖЭТФ. 1998. – Т. 67. – №4 – С. 245-250.
22. Агранович В.М. Экситоны и оптические нелинейности в гибридных органических-неорганическихnanoструктурах // Успехи физических наук. 1999. -Т. 169. -№3. -С. 346.
23. Agranovich V. M, La Rocca G., Bassani F. Efficient electronic energy transfer from a semiconductor quantum well to an organic material // Pis'ma v ZhETF. 1997. -V. 66. -iss. 11. – P. 714-717.
24. Персонов Р.И. Селективная спектроскопия сложных молекул в растворах и ее применение // В кн.: Спектроскопия и динамика возбуждений в конденсированных молекулярных системах. Под ред. В.М. Аграновича и Р.М. Хохштассера. М.: Наука. 1987. С. 341-387.
25. Осадько И.С. Селективная спектроскопия одиночных молекул. М.: Физматлит. 2000. -320 с.
26. Вайнер Ю.Г. Спектроскопия одиночных молекул и динамика неупорядоченных твердых тел // Успехи физических наук. 2004. -Т. 174. -№6. -С. 679-683.
27. Кучеренко М.Г. Учет межчастичных корреляций в кинетике фотоприводов и органических люминофоров в полимерах// Химическая физика. 1993. -Т.12. -№12. -С. 1581-1589.
28. Kucherenko M.G. The Role of Spatial Correlations in Diffusion-controlled Luminescent Reactions // Chemical Physics. 1994. - V.179. -Р. 279-286.
29. Кучеренко М.Г., Мельник М.П., Кецле Г.А., Летута С.Н. Селективное лазерное усиление флуктуаций скорости реакции A + B ->0 // Изв. Акад. Наук (Россия). Серия физич.1993. -Т.57. -№12. -С. 175-180.
30. Кучеренко М.Г., Мельник М.П., Кецле Г.А., Летута С.Н. Изменение кинетики аннигиляционной люминесценции красителей в полимерах под действием лазерного импульса // Оптика и спектр. 1995. -Т.78. -№4. -С. 649-653.
31. Кецле Г.А., Кучеренко М.Г. Кинематика аннигиляции электронных возбуждений в неупорядоченных средах // Юбилейный сборник научных трудов. Оренбург: ОГУ. 1996. -С. 86-98.
32. Кецле Г.А., Кучеренко М.Г. Управление кинетикой фотопроцессов лазерным излучением // Краткие сообщения по физике ФИАН. 1996. -№5-6. -С. 93-106.
33. Kucherenko M.G., Ketsle G.A. Kinetics of the oxygen-induced luminescence of adsorbates on aluminium oxide films // Functional materials. 1996. -V.3. -N4. -P. 449-455.
34. Kucherenko M.G., Ketsle G.A., Ketsle E.G. Application holography to measuring static annihilation of excited centers // Proc. SPIE Nonlinear Spectroscopy and Ultrafast Phenomena. Eds.: V.V.Shuvalov, A.M.Zheltikov. 1996. -V. 2797. -P.63-68.
35. Kucherenko M.G. Relaxation of holographic record in the system with annihilating centers // Proc. SPIE Holographic and Diffractive Techniques. Ed.: G.J.Dausmann. 1996. -V. 2951. -P. 80-90.
36. Kucherenko M.G. Relaxation of holographic record in the system with annihilating centers // Applications in Photonic Technology 2. Plenum Publishing Corpor. 1997. -P. 157-165.
37. Кучеренко М.Г. Кинетика нелинейных фотопроцессов в конденсированных молекулярных системах. Оренбург: ОГУ. 1997. -386 с.
38. Kucherenko M.G. Holographic recording in the system with annihilating centers. Relaxation & suppression of the transmission fluctuations of transient gratings // in Optical Recording Mechanisms and Media. Ed.: Andrey L. Mikaelian, Proc. SPIE Optical Information Science and Technology (OIST'97). 1998. -V. 3347. -P. 302-313.
39. Кучеренко М.Г. Кинетика статического нелинейного самотушения люминесценции в коллоидных системах // Коллоидный журнал. 1998. -Т.60. -№3. -С. 398-406. (Kucherenko M.G. Kinetics of the static nonlinear self-quenching of luminescence in colloidal systems // Coll. J. 1998. V.60. -№3. -P. 347-355.)
40. Кучеренко М.Г., Кецле Г.А. Дифракция света на решетке из аннигилирующих возбужденных центров // Оптика и спектр. 1998. -Т. 85. – №2. – С. 265-272.
41. Кучеренко М.Г. Подавление флуктуаций пропускания динамических решеток при аннигиляции возбужденных фотохромных центров // Оптика и спектр. 1998. – Т. 85. – №1. – С. 130-136.
42. Кучеренко М.Г. Голографическая запись в системе аннигилирующих центров. Релаксация и подавление флуктуаций пропускания динамических решеток // Журнал научной и прикладной фотографии. М.: Наука. 1998. – Т. 43. – №5. – С. 66-78
43. Aringazin A.K., Kucherenko M.G. Exact solution of the restricted three-body Santilli-Shillady model of of H₂ molecule // Hadronic Journal. 1999. – V.86. -N6. – P. 802-851.
44. Кучеренко М.Г., Кецле Г.А. Датчик молекулярного кислорода на основе эффекта O₂ – индуцированной флуоресценции // Датчики и системы. 1999. – №4. – С.10-14.
45. Кучеренко М.Г., Кецле Г.А. Подавление генерации синглетного кислорода мощным лазерным импульсом // Известия РАН. Серия физ. 1999. – Т.63. – №6. -С. 1149-1154.
46. Кучеренко М.Г. Броуновские блуждания и кинетика аннигиляции односортных электронных возбуждений // Вестник ОГУ. 1999. -№1. – С. 27-32.
47. Кучеренко М.Г. Кинетика реакции синглетного кислорода с неподвижными сенсибилизаторами // Материалы XI симп. «Современная химическая физика». Туапсе: ИХФ РАН. 1999. 187 с. С. 26-28.
48. Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М. Определение магнитных моментов атомов с учетом спин-орбитального взаимодействия электронов. // Вестник ОГУ. 2000. -№1. -С. 26-33.
49. Кучеренко М.Г. Динамика флуктуаций числа молекул в наноячейках и кинетика реакций в дисперсных средах // Вестник ОГУ. 2000. -№2. -С. 57-64.
50. Кучеренко М.Г. Процессы с участием электронно-возбужденных молекул. Оренбург: ОГУ. 2001. – 60 с.
51. Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М. Индуцированная колебательными переходами десорбция возбужденных молекул кислорода из поверхностного монослоя // Вестник ОГУ. 2001. – №1. – С. 81-87.
52. Кучеренко М.Г. О кинетике реакции синглетного кислорода с неподвижными сенсибилизаторами // Химическая физика. 2001 . Т. 20. №3. С. 31-36.

53. Летута С.Н., Кецле Г.А., Лантух Ю.Д., Пашкевич С.Н. Фотохромные превращения в окрашенных полимерах при двухквантовом возбуждении // Квантовая электроника. 2001. -Т. 31.-№10. – С. 925-928.
54. Кучеренко М.Г. Флуктуационная кинетика фотопреакций в системе переколяционно – связанных наноячеек // Вестник ОГУ. 2001. -№2(8). -С. 89-95.
55. Кучеренко М.Г., Криволапов В.В. Новые методы коммутации оптических информационных каналов на основе динамических голограммических решеток // Вестник ОГУ. 2001. -№4(10). – С. 66-69.
56. Летута С.Н., Кецле Г.А., Бондаренко В.А. Люминесцентный способ определения концентрации кислорода // Датчики и системы. 2001. -№9. – С. 26-29.
57. Кучеренко М.Г., Гуньков В.В., Чмерева Т.М. Кинетика кислород-зависящих фотопреакций в мономолекулярном слое Ленгмиора-Блоджетт // Вестник Оренбургск. гос. ун-та. 2002.- №3(13). – С. 159-165.
58. Кучеренко М.Г. Квантовый выход люминесценции молекулярных систем: примесное тушение и взаимная дезактивация возбуждений // Вестник Оренбургск. гос. ун-та. 2002.- №2 (12). – С. 176-184.
59. Кучеренко М.Г. К вопросу о кинетике молекулярной десорбции // Вестник ОГУ. 2002. -№5 (15). – С. 92-97.
60. Чмерева Т.М., Кучеренко М.Г., Гуньков В.В. Кинетика люминесценции адсорбатов, промодулированная десорбией молекул кислорода из поверхностного монослоя // Оптический журнал. 2002. -Т. 69. -№7. – С.5-9.
61. Летута С.Н. Триплет-синглетная интеркомбинационная конверсия в многоатомных молекулах // Вестник ОГУ. 2002. - №5. – С. 88-91.
62. Летута С.Н., Кецле Г.А., Левшин Л.В., Никиян А.Г., Давыдова О.К.. Исследование взаимодействия родамина 6Ж с ДНК методами спектрофотометрии и зондовой микроскопии // Оптика и спектр. 2002. –Т. 93. -№6. – С. 916-919.
63. Кучеренко М.Г., Сидоров А.В. Кинетика статической аннигиляции квазичастиц в полидисперскойnanoструктуре // Вестник ОГУ. 2003. -№2(12). – С. 51-57.
64. Кучеренко М.Г., Русинов А.П. Дифракция зондирующего луча на нестационарных тепловых структурах в системах с насыщаемыми трехуровневыми центрами // Вестник ОГУ. 2004. №5. С. 128-134.
65. Кучеренко М.Г., Русинов А.П. Оптическая запись нестационарных пространственных структур в системе насыщаемых трехуровневых центров // Квантовая электроника. 2004. – Т. 34. -№8. – С.458-463.
66. Кучеренко М.Г., Русинов А.П. Запись и распад нестационарных решеток в системе насыщаемых трехуровневых центров / / Оптика и спектр. 2004. -Т.97. -№6. – С. 1026-1033.
67. Кучеренко М.Г., Игнатьев А.А., Жолудь А.А Люминесценция органических молекул, связанных с полимерными цепями в жидких растворах: кинетика переноса энергии к тушителям и квантовый выход свечения, управляемые конформационными переходами // Вестник ОГУ. 2004. -№4. –С. 121-131.
68. Кучеренко М.Г., Степанов В.Н., Чмерева Т.М. Асимптотическая стадия кинетики экситонных процессов в полимерных цепях с регулярной и нарушенной структурой // Вестник ОГУ. 2004. -№9. – С. 127-139.
69. Кучеренко М.Г., Русинов А.П. Дифракционная эффективность нестационарных фазовых решеток в системе трехуровневых центров // Труды третьей международной конференции «Фундаментальные проблемы оптики». С.-Петербург. 2004. СПб: СПбГУ ИТМО. –С. 214-216.
70. Левшин Л.В., Салецкий А.М., Кучеренко М.Г., Палем А.А. Деполяризация люминесценции упорядоченных молекулярных агрегатов // Вестник ОГУ. 2005. №1. С. 134-144.
71. Кучеренко М.Г., Степанов В.Н. Экситонные процессы в полимерных цепях. 2005. Оренбург: ОГУ. -160 с.
72. Кучеренко М.Г., Чмерева Т.М., Гуньков В.В. Влияние индуцированной фононами десорбции молекул кислорода с поверхности твердого тела на кинетику люминесценции адсорбатов // Оптика и спектр. 2005. -Т. 99. -№5. С. 804-809.
73. Кучеренко М.Г. Перенос энергии электронного возбуждения между фрагментами полимерной цепи в пределе быстрых конформационных переходов // Вестник ОГУ. 2005. -№5. – С. 90-97.