

СПРАВКА

об учебно-научной деятельности

кафедры квантовой электроники в период с 2012 по 2016 гг.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА. КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА.

Кафедра квантовой электроники (до 2001г. называвшаяся кафедрой квантовой радиофизики) была создана академиком Л.В. Келдышем в 1978 г. в результате реорганизации двух кафедр ОРФ – кафедры волновых процессов и кафедры общей физики для мехмата. Первой из них руководил академик Р.В. Хохлов - до своей трагической гибели в 1977 г. Заведующим второй был профессор С.А.Ахманов, ближайший сподвижник Р.В.Хохлова в создании отечественной школы нелинейной оптики. После реорганизации были созданы две кафедры – общей физики и волновых процессов (ОФ и ВП) под руководством С.А.Ахманова и квантовой радиофизики (КРФ), которой до 2001 года руководил академик Л.В.Келдыш. (С 2001 г. по настоящее время заведующим кафедрой является профессор В.И. Панов). На начальном этапе научные направления кафедры охватывали спектр исследований в области физики лазеров и изучения физических явлений, протекающих в поле лазерного излучения. В последующем кафедра перенесла свои основные научные интересы в область физики конденсированных сред и физики наноструктур, нелинейной и квантовой оптики, изучения проблем взаимодействия электромагнитного излучения с веществом и нанофотоники, а также квантовой обработки и передачи информации. В настоящее время теоретические и экспериментальные исследования, представленные на кафедре, отвечают передовым тенденциям развития этих научно-технологических направлений, что позволяет осуществлять углубленную подготовку студентов по всем имеющимся на кафедре научным направлениям. В последние годы теоретические и экспериментальные исследования кафедры сбалансированы. Проводится углубленная подготовка студентов по теоретическим основам квантовой электроники – физике конденсированного состояния, взаимодействию излучения с веществом, наряду с подготовкой в областях экспериментальной лазерной физики – нелинейной оптике, лазерной спектроскопии, физике наносистем и фотонно-кристаллических сред, нелинейной и квантовой оптики, квантовой обработки и передачи информации.

Особенностью отчётного периода является то, что в 2015 году исполнилось 50 лет с момента создания кафедры волновых процессов, сотрудники которой и составили в дальнейшем основу коллектива кафедры квантовой электроники. Они во многом определили стиль её работы и традиции. Наряду с основателем кафедры Л.В. Келдышем, в первый состав кафедры вместе со своими лабораториями и группами вошли Д.Н. Клышко, В.В. Фадеев,

Ю.А. Ильинский, А.Н. Пенин, В.С. Днепровский, С.П. Чернов. В момент образования (1978г.) на кафедре работали 27 сотрудников. К настоящему времени из стартового научно-педагогического состава на кафедре осталось лишь два сотрудника, её основатель академик Л.В. Келдыш и профессор В.В. Фадеев. Следует отметить сотрудников следующего поколения: П.В. Елютина и О.А. Акципетрова, сыгравших ключевую роль в подготовке молодых кадров на кафедре. В результате на смену ветеранам пришли их талантливые ученики и ученики их учеников, которые сформировали на кафедре новые научные направления, возглавили лаборатории и научные группы. Благодаря им продолжают развиваться традиции кафедр волновых процессов и квантовой электроники. Это: профессора С.П. Кулик, А.А. Федянин и А.Н. Рубцов, доктора наук Г.Х. Китаева и Т.В. Мурзина, кандидаты наук П.А. Прудковский, А.И.Орешкин, Т.А. Доленко, М.Р.Щербаков, Е.А. Ширшин, С.С. Страупе и др. Кроме того кафедра стимулирует выпускников кафедры на поиск и формирование собственных научных направлений. Кадровая политика кафедры, направленная на поддержку талантливой молодёжи, была и остаётся определяющим фактором, который обеспечивает постоянный прогресс в педагогической и научной деятельности кафедры.

Таким образом, за 38 лет существования кафедры структура ее научной тематики непрерывно изменялась, при этом оставаясь в русле современных тенденций развития квантовой электроники и квантовой оптики.

За последние пять лет численный состав кафедры практически не изменился, однако, также как и в предшествующий период, постоянно изменяется распределение ее кадрового состава, преимущественно за счет притока молодежи. В 2011 г. кафедра состояла из 29 сотрудников, сейчас в ее составе также находится **29** сотрудников, из них:

- профессорско-преподавательский состав – **10** человек:
6 профессоров, **4** доцента (в 2011 г. было **6** профессоров, **5** доцентов);
- научный состав – **16** человек:
2 ведущих научных сотрудника, **6** старших научных сотрудников, **3** научных сотрудника, **5** младших научных сотрудников (в 2011г. было **1** внс, **6** снс, **2** нс, **6** мнс);
- вспомогательный состав – **3** человека (в 2011г. было **3** человека).

Следует отметить, что для работ в рамках НИР и ОКР лаборатория квантовых оптических технологий ежегодно привлекает до 70 сотрудников.

В настоящий момент средний возраст учебно-научного состава кафедры – **46** лет (в 2006г. и в 2011 г. он составлял **45** лет), причём 64 % сотрудников кафедры имеют возраст до 50 лет (в 2006 г. и в 2011 г. таких сотрудников было также 65%), т.е. за последние годы кафедра по формальным показателям не постарела. К сожалению, в последний отчетный

период эти показатели связаны, в основном, с трагическими событиями. Кафедра потеряла замечательных сотрудников и талантливых ученых: Профессора А.Н.Пенина, доцента А.А.Никулина и снс С.В.Савинова, которые внесли значительный вклад в развитие кафедры.

Вместе с тем кафедра многие годы стабильно представляет собой сбалансированный коллектив высококвалифицированных, активно и успешно работающих сотрудников, сочетающих опыт и энергию молодости. При этом «опыт», в основном, олицетворяют уже выпускники кафедры квантовой электроники - ещё молодые учёные, находящиеся на пике своей творческой активности. За два предшествующих отчетных периода докторами наук стали 7 сотрудников кафедры - Н.С. Маслова, С.П. Кулик, Г.Х. Китаева, М.В. Чехова, Т.С.Мурзина, А.Н.Рубцов, А.А.Федянин. Трое из них: А.Н.Рубцов, А.А.Федянин и С.П. Кулик стали профессорами кафедры. В настоящее время на кафедре работает **10** докторов наук (около 40 % общего научно-педагогического состава; в 2000г. их было 5, в 2006г. – 9, в 2011 г. - 11) и **15** кандидатов наук (57 % общего научно-педагогического состава; в 2000г. было 16, в 2006г. – 14, в 2011 г. - 13). Среди них лауреаты медали Европейского Физического Общества, Ленинской и Государственной премий, премии Ленинского Комсомола, авторы открытия (лауреатами Государственных премий являются трое из шести профессоров кафедры). За последние пять лет состав кафедры пополнился пятью молодыми сотрудниками из числа выпускников кафедры.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАБОТА

Курсы лекций

Обучение студентов на кафедре в настоящее время осуществляется по направлению "Физика" 03.03.02 (бакалавры) и 03.04.02 (магистры), образование в магистратуре осуществляется по магистерской программе "Квантовая электроника и квантовая оптика". В соответствии с этой специализацией разработана система лекционных курсов кафедры, структура которых представлена в таблице.

Курсы объединены в пять блоков. В первый блок (*теория колебаний и волн*) входят общие курсы, знакомящие с основными методами, существующими в современной теории колебаний и волн. Этот блок составляют как курсы, традиционно читавшиеся в рамках Отделения радиофизики и электроники ("Теория колебаний", "Теория волн", "Теория нелинейных волн"), так и новые ("Нелинейная динамика"), в которых студенты получают представление о современных подходах к задачам в этой области знаний.

Второй блок составляют курсы, отражающие на фундаментальном уровне специфическое направление кафедры - *взаимодействие электромагнитного излучения с веществом*. Это - курсы "Квантовая электроника", "Теоретические основы квантовой

радиофизики", " Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом". Сюда же входят курсы "Статистическая радиофизика" и "Численные методы", которые необходимы для фундаментального образования специалистов в области квантовой электроники.

В трех блоках - "Оптика", "Лазерная спектроскопия" и "Теория твердого тела" - собраны курсы, которые завершают образование выпускников кафедры в рамках специализации "Квантовая электроника и квантовая оптика". Каждый из них содержит как вводные курсы ("Введение в нелинейную оптику", "Экспериментальные методы квантовой электроники", "Основы физики лазеров", "Физические основы лазерной спектроскопии", "Физика конденсированного состояния вещества", "Оптика пространственно-неоднородных сред и метаматериалов", "Элементарные возбуждения в твердом теле", "Квантовая оптика", "Основы корреляционной спектроскопии"), так и курсы, знакомящие с современным состоянием проблем квантовой электроники ("Нелинейная оптика", "Оптика неклассических полей", "Корреляционная спектроскопия", "Наноэлектроника и мезоскопика", "Макроскопические квантовые явления", "Сканирующая зондовая микроскопия и наноэлектроника"). Ряд курсов читается приглашенными преподавателями и научными сотрудниками других факультетов МГУ и институтов.

В последние годы, в связи с переходом на двухступенчатую систему образования студентов и вступившем в силу 1 сентября 2013 года законе "Об образовании", по которому аспирантура стала третьей ступенью высшего образования, программа чтения курсов изменилась; в результате была выработана следующая структура кафедральных курсов:

СТРУКТУРА СПЕЦИАЛЬНЫХ КУРСОВ КАФЕДРЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Бакалавры

№	название	семестр	курс
ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ И ВОЛН			
1.	Теория колебаний	6	3
2.	Нелинейная динамика	7	4
3.	Теория волн	7	4
4.	Теория нелинейных волн	8	4
БАЗОВЫЕ КУРСЫ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ			
5.	Экспериментальные методы квантовой электроники	6	3
6.	Основные модели квантовой радиофизики	8	4
7.	Квантовая электроника	8	4
8.	Основы физики лазеров	7	4
ОПТИКА			
1.	Оптика пространственно неоднородных сред и метаматериалов	7	4
2.	Введение в нелинейную оптику	8	4

ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ			
1.	Физические основы лазерной спектроскопии	7	4
2.	Основы корреляционной спектроскопии	8	4
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА			
13	Основы физики конденсированного состояния вещества	7	4

Магистранты:

№	название	семестр	курс
БАЗОВЫЕ КУРСЫ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ			
1	Теоретические основы квантовой радиофизики	1	1
2	Элементарные возбуждения в твердом теле	1	1
3	Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом	1	1
4	Макроскопические квантовые явления	2	1
5*	Физические основы квантовой информации *	2	1
6	Сканирующая зондовая микроскопия и наноэлектроника	2	1
7	Физика наноструктур и мезоскопические явления	2	1
8 *	Квантовые вычисления	3	2
ОПТИКА			
9	Нелинейная оптика	1	1
10	Квантовая оптика	1	1
11	Оптика неклассических полей	2	1
12*	Современные проблемы нелинейной нанофотоники	3	2
ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ			
13*	Лазерная спектроскопия элементарных возбуждений в твердом теле *	1	2
14	Основные модели корреляционной спектроскопии	2	1
15*	Оптическая спектроскопия дисперсных сред *	2	1
16*	Аналитическая лазерная спектроскопия *	2	1
17*	Лазерная спектроскопия высокомолекулярных соединений*	4	2
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА			
18	Макроскопические квантовые явления	2	1

КУРСЫ ДЛЯ АСПИРАНТОВ			
1.	Физические основы квантовой информации		2 г/о
2.	Современные проблемы лазерной физики		2 г/о
3*.	Основные модели и методы теоретического исследования электронного транспорта в наноструктурах		2 г/о
4.	Физические основы локальных методов исследования нанообъектов и наносистем		2 г/о
5.	Лазерные методы генерации и детектирования терагерцового излучения		2 г/о
6.	Адаптивные методы анализа данных для решения обратных задач оптической спектроскопии		2 г/о
7*.	Современные методы и возможности колебательной спектроскопии		2 г/о

8*.	Концепции и методы современной теории конденсированного состояния: равновесные системы		2 г/о
-----	--	--	-------

* - курсы, подготовленные за последние 5 лет

С 2011 года обучение магистрантов на кафедре проводится по программе «Квантовая электроника и квантовая оптика». Она включает в себя 20 дисциплин, 13 из которых – обязательные (дисциплины магистерской программы), остальные относятся к вариативной части. За отчетный период подготовлено 7 новых специальных курсов, отмеченных в таблице знаком *. А также читался общий курс лекций «Введение в квантовую физику» в четвертом семестре, и силами сотрудников кафедры проводились семинарские занятия.

Особое внимание на кафедре уделяется работе со студентами младших курсов. Для знакомства с кафедральными направлениями работ и профориентацией студентов активно используются и курсовые работы 2 курса. В результате значительная часть принимаемых студентов начинает работу на кафедре до срока своего официального распределения.

Кафедра активно использует наиболее современную форму распределения информации – Интернет. На сайте кафедры <http://quantum.phys.msu.ru> выставлены программы и развернутые конспекты большинства читаемых на кафедре лекционных курсов. Сайт кафедры содержит специальную страницу, адресованную студентам 1 – 3 курсов; на ней помещены темы курсовых работ для студентов 2 курса, архив SEMINARIUM’а и ссылка на архив кафедральных олимпиад.

Практикум

Экспериментальная подготовка студентов кафедры осуществляется путем выполнения полного цикла обязательных задач Отделения радиофизики и электроники. Основное внимание уделяется выполнению задач на кафедрах Общей Физики и Волновых Процессов (ОФ и ВП) и Кафедры Квантовой Электроники (КЭ). Этот цикл дополняется двумя традиционными задачами специального практикума КЭ. В одной - исследуется эффект, открытый сотрудниками кафедры (спонтанное параметрическое рассеяние света). В другой задаче отражены фундаментальные методологические вопросы современной квантовой оптики. В 2006 г. были поставлены и включены в учебный план две новые задачи, которые в 2011/12 г. были модернизированы, а в 2015г. была добавлена еще одна задача. В этих задачах осуществляется знакомство с современными методами локального исследования поверхности и наноструктур – методами сканирующей зондовой микроскопии.

Параметрическое рассеяние света

В этой задаче осуществляется знакомство студентов с одним из фундаментальных явлений нелинейной и квантовой оптики - параметрическим рассеянием (ПР) света в средах без центра инверсии. Задача дает возможность получить навыки наблюдения

параметрического рассеяния света и регистрации его спектров. Задача предназначена для студентов 4-го и 5-го курсов ОРЭ физического факультета МГУ.

Управляемые классические корреляции типа Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР)

При выполнении этой задачи студенты знакомятся с такими важными для квантовой оптики концепциями как парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена и парадокс Белла. В задаче изучается электронная модель, позволяющая имитировать парную корреляцию случайных дихотомных сигналов типа ЭПР и демонстрировать выполнение неравенств Белла в классической физике. Задача предназначена для студентов 4-го и 5-го курсов всех отделений физического факультета МГУ.

Сканирующая зондовая микроскопия

При выполнении задач студенты знакомятся с современными методами локального исследования поверхности твердого тела и наноструктур, расположенных на его поверхности. Задачи включают в себя три части:

1. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) воздушной среде на примере изучения поверхности (0001) высокоориентированного пиролитического графита с получением атомного разрешения.

2. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) поверхности двумерного массива наноструктур, сформированных на поверхности монокристаллического кремния.

Результатом выполнения 1 и 2 части является получение основных навыков исследования методами СТМ и АСМ. В ходе выполнения задачи студенты получают представление о возможностях, специфических особенностях и ограничениях этих методов. Эти задачи предназначены для студентов магистратуры 1-го и 2-го курсов ОРЭ физического факультета МГУ.

3. Исследование поверхностных наноструктур методом сверхвысоковакуумной сканирующей туннельной микроскопии.

В этой задаче студенты осваивают навыки работы с современным туннельным микроскопом и знакомятся с методикой приготовления зондирующих игл и образцов для работы в условиях сверхвысокого вакуума. Задание предполагает получение студентами изображения распределения атомов на реконструированной поверхности кремния и его анализ. Задача предназначена для магистров 2-го курса ОРЭ физического факультета МГУ.

Учебно-методическая литература и монографии

В период с 2011 по 2016 год сотрудниками кафедры выпущена методическая литература, учебные пособия и монографии:

1. Знаменская И.А., Панов В.И., Сысоев Н.Н., Тагаченков А.М., Уваров А.В., Федянин А.А., Хахалин А.В. Специальный практикум по молекулярной физике и квантовой электронике: учебное пособие, МГУ Москва, ISBN 5-8279-0024-9, 126с., 2011.

2. Анашина О.Д., Андрюшечкин С.Е., Панов В.И., Федянин А.А. и др. Метрологическое обеспечение нанотехнологий и продукции nanoиндустрии: учебное пособие, изд-во Логос Москва, ISBN 978-598704-613-5, 592с., 2011.

3. David Klyshko. Physical Foundations of Quantum Electronics. Edited by Maria Chekhova and Sergey Kulik (Lomonosov Moscow State University, Russia). World Scientific Publishing Company. ISBN: 978-981-4324-50-2 (hardcover). 368 pp., 2011.

4. П.И. Арсеев, Н.С. Маслова, В.Н. Манцевич. Основы процессов туннелирования в наноструктурах. М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 161 с., 2013.

5. Н.С. Маслова, В.Н. Манцевич, П.И. Арсеев. Основные модели и методы описания нестационарного электронного транспорта в наноструктурах. М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 101 с., 2016.

6. M.R. Shcherbakov, T.V. Dolgova, A.A. Fedyanin, “Recent Advances in Nanoplasmonics and Magnetoplasmonics”, in *Nanoscale Applications for Information and Energy Systems*, Edited by A. Korkin and D.J. Lockwood. Nanostructure Science and Technology, Springer Science+Business Media New York. ISBN 978-1-4614-5015-3 (hardcover). 257 pp., 2013. (глава в коллективной монографии)

7. O.A. Aktsipetrov, A.A. Fedyanin, M. Inoue, M. Levy, T.V. Murzina, “Nonlinear Magneto-Optics in Magnetophotonic Crystals”, in *Magnetophotonics*, Springer Series in Materials Science **178**. Edited by M. Inoue, M. Levy, and A.V. Baryshev. ISBN: 978-3-642-35508-0 (hardcover). 228 pp., 2013. (глава в коллективной монографии)

8. Fadeev V.V., Shirshin E.A., “Nonlinear laser fluorescence spectroscopy of natural organic compounds”, in *Handbook of Coherent-Domain Optical Methods: Biomedical Diagnostics, Environmental Monitoring, and Material Science*. Chapter 30, pp. 1255-1288. Edited by V.V. Tuchin. Springer Science+Business Media New York, USA. ISBN: 978-1-4614-5175-4. 34 pp., 2013. (глава в коллективной монографии)

Поощрения (премии, гранты, и пр.) за учебную и научную работу.

В таблице представлены различные поощрения, полученные преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами и студентами за учебную и научную работу в отчетный период.

ПРЕПОДАВАТЕЛИ

НАМЕНОВАНИЕ	Ф.И.О.	ГОД ПРИСУЖДЕНИЯ
--------------------	---------------	------------------------

Почетная грамота Министерства образования и науки Российской Федерации	Кулик С.П.	2013
Конкурс работ, способствующих решению задач Программы развития Московского университета	Мурзина Т.В., Китаева Г.Х., Кулик С.П., Фадеев В.В.	2016
Профессор РАН	Рубцов А.Н., Федянин А.А.	2016

НАУЧНЫЕ СОТРУДНИКИ

НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО
Грант Президента РФ для поддержки молодых российских ученых	7
Стипендия Президента РФ	1
Всероссийский конкурс по поддержке высокотехнологичных инновационных молодёжных проектов, проводимый РАН и Национальной Ассоциацией Инноваций и Развития Информационных Технологий (НАИРИТ)	1
Премия Правительства Москвы молодым ученым	1
Стипендия МГУ талантливым молодым сотрудникам и преподавателям	2
Стипендия ректора МГУ	1
Конкурс работ, способствующих решению задач Программы развития Московского университета	5
Премия Совета молодых ученых МГУ	1
Конкурс работ талантливых студентов, аспирантов и молодых ученых МГУ имени М.В.Ломоносова, учрежденный О.В. Дерипаска	1
Конкурс инновационных проектов МГУ	1
Конкурс молодых ученых физического факультета	5
Стипендия DAAD	2
Стипендия фонда «Вольное дело»	1
Стипендия сообщества SPIE	1

АСПИРАНТЫ

НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО
Стипендия Президента РФ для аспирантов	7
Стипендия правительства РФ для аспирантов	6
Стипендия им. М.В. Ломоносова для молодых ученых	1
Конкурс молодежных инновационных проектов "УМНИК"	5
Диплом РосКосмоса за проект на конференции "Молодежь и будущее авиации и космонавтики"	1

Грант на зарубежную стажировку некоммерческого фонда "Лифт в будущее"	1
Диплом конкурса молодых ученых Каргинской конференции "Полимеры-2014"	1
Диплом конкурса SIPGA (Singapore International Pre-Graduate Award)	1
SPIE Student Travel Grant 2016	1

СТУДЕНТЫ

НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО
Именные стипендии:	
Имени М.В.Ломоносова	1
Имени М.В.Келдыша	1
Имени Р.В.Хохлова	1
Премии на конкурсе дипломных работ им. Р.В.Хохлова	2
Премия на конкурсе дипломных работ МЛЦ им. Н.И.Коротеева	5
Стипендия фонда "Династия" для студентов	4
Гранты для студентов по программе «УМНИК»	5

В настоящее время на кафедре одновременно обучается **54** студента (в 2011 г. было 35). Студенты активно участвуют в научной работе кафедры. За последние пять лет с их участием опубликовано **132** статьи в реферируемых журналах (в 2011 г. - 120) и более **180** тезисов докладов на Всероссийских и Международных конференциях (в 2011 г. было около 110).

По окончании факультета лучшие студенты поступают в аспирантуру. В настоящее время на кафедре проходят аспирантуру **33** человека (в предшествующий период – 14). За последние пять лет **19** аспирантов защитили кандидатские диссертации (в предшествующий период – 14).

ПОДДЕРЖКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ

Существенной организационной частью учебно-научной деятельности кафедры является совершенствование экспериментальной базы, необходимой для выполнения специализированной учебной работы и научных исследований. За последние пять лет кафедра пополнилась оборудованием, необходимым для проведения исследований, обеспечивающих современный уровень подготовки студентов, аспирантов и научной работы, часть из которых приведена ниже:

1. Система флуоресцентной микроскопии полного внутреннего отражения с возможностью использования схем внешнего возбуждения и возбуждения через микрообъектив (программа ПНР МГУ).

2. Измерительная головка-сканер сканирующего зондового микроскопа и модуля управления сканирующего зондового микроскопа для модернизации сканирующего зондового микроскопа SOLVER P47H-PRO (программа ПНР МГУ).
3. Лазер иттербиевый твердотельный фемтосекундный "Авеста-Тема".
4. Столы оптические T1225 QK, T1225 CN, TSM-KP.
5. Компенсатор Бабине-Солейля 365-800 нм
6. Камера монохромная DCC 1545M
7. Блок питания для аргонового лазера ЛГН 106M4
8. Опто-акустический приемник GC-1T
9. Автокорреляторы фемтосекундных импульсов AA-20DD, ASF-20
10. Лазер диодный (длина волны 445 нм)
11. Микроскоп медицинский прямой CX41RF для лабораторных исследований
12. Пространственный фазовый модулятор света

Созданы и усовершенствованы следующие установки:

1. Экспериментальный комплекс фемтосекундной лазерной печати
2. Экспериментальный комплекс для лазерного охлаждения и захвата одиночных атомов – сверхвысоковакуумный оптический пинцет.
3. Экспериментальный комплекс для:
 - а) исследования генерации импульсного терагерцового излучения в нелинейно-оптических кристаллах и полупроводниковых излучателях под действием фемтосекундной лазерной накачки на длине волны 1.5 мкм;
 - б) время-разрешенной спектроскопии в терагерцовом диапазоне частот.
4. Экспериментальная установка для частотно-селективного нелинейно-оптического детектирования непрерывного и квази-непрерывного терагерцового излучения, выполненная на основе аргонового лазера.
5. Компактная экспериментальная установка для генерации импульсов терагерцового излучения наносекундной длительности на частоте 1.67 ТГц, на основе двухчастотного полупроводникового ИК лазера и нелинейно-оптического кристалла GaSe.
6. Установка для пикосекундной время-разрешенной флуориметрии.
7. Установка для реализации метода спектроскопии лазерно-индуцированной плазмы.
8. Установка для реализации метода оптического термофореза.
9. Флуориметр с разделением многокомпонентной пробы на фракции методом капиллярного электрофореза.
10. Оптический квантовый томограф поляризационных состояний одно-и двухфотонного света.

11. Системы квантового распределения ключей через волоконно-оптические и атмосферные каналы связи.
12. Установка спектроскопии накачки-зонда (pump-probe) на основе твердотельного фемтосекундного лазера, установка микроспектроскопии для характеристики метаповерхностей и наноструктурированных материалов.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАФЕДРЫ

Основные научные направления

Экспериментальные исследования на кафедре проводятся в 7 научных лабораториях по следующим направлениям:

- Лаборатория квантовых оптических технологий – рук. проф. С.П. Кулик.
- Квантовые явления в оптическом и терагерцовом диапазонах – рук. д.ф.-м.н., доц. Г.Х. Китаева, сменившая в 2016 году на этом посту своего учителя, основателя лаборатории, проф. А.Н. Пенина.
- Лазерная биофотоника – рук. проф. В.В. Фадеев.
- Лазерная спектроскопия растворов супрамолекулярных соединений и наноструктур – рук. с.н.с. Т.А. Доленко.
- Нанооптика метаматериалов и наноструктур – рук. проф. А.А. Федянин.
- Нелинейная оптика наноструктур и фотонных кристаллов – рук. д.ф.-м.н., доцент Т. Н. Мурзина.
- Сканирующая зондовая микроскопия и физика наноструктур – рук. проф. В.И. Панов.

Теоретические исследования проводятся по следующим основным направлениям:

- Конденсированные среды в сильных электромагнитных полях - акад. Л.В. Келдыш.
- Динамика переходов под воздействием однофотонных волновых пакетов и структура квантового излученного поля – доц. П.В. Елютин.
- Неравновесные эффекты и нестационарный электронный транспорт в коррелированных наноструктурах – д.ф.-м.н., доц. Н.С. Маслова.
- Кинетика доменных структур в ферромагнитных тонких пленках с внеплоскостной анизотропией. Нелинейнооптические и автоволновые процессы в фоторефрактивных средах – с.н.с. П.А. Прудковский.
- Теория и моделирование коррелированных квантовых систем – проф. А.Н. Рубцов.

Наиболее важные научные результаты

1. Разработаны и апробированы эффективные протоколы адаптивной байесовской томографии и гомодинного детектирования оптических состояний.
2. Разработаны методы и создана установка для управления одиночными атомами в магнито-оптических и дипольных ловушках. Достигнуто время удержания в ловушке одиночного атома рубидия порядка 100 секунд.
3. Разработан и создан технологический комплекс для изготовления базовых компонентов для систем квантовой связи и квантовых вычислителей на основе фемтосекундной лазерной печати.
4. Разработан и протестирован компактный квантовый датчик случайных чисел со скоростью 1.2Мб/с - один из основных элементов систем квантовой криптографии.
5. Разработана, создана (совместно с ФПИ) полностью автоматическая (без участия оператора) сетевая, оптоволоконная система квантового распределения ключей, обладающая свойством регенерации. Параметры системы не уступают, а по защищенности превышают параметры зарубежных аналогов. Система квантовой связи успешно испытана на базе стандартных линий связи ПАО «Ростелеком» на расстоянии более 30 км. Между городами Подмоскovie (Ногинск и Павловский Посад) был осуществлен обмен сообщениями, зашифрованными с помощью квантовых технологий.
6. Получены в эксперименте макроскопические аналоги двухфотонных состояний Белла, продемонстрировано их макроскопическое перепутывание и выполнена поляризационная томография.
7. Создан источник яркого сжатого вакуума на базе двух пространственно разделенных нелинейных кристаллов, позволяющий получить излучение с регулируемым количеством пространственных (поперечных) и временных (продольных) мод.
8. Создан источник «пучков-близнецов» на основе модуляционной неустойчивости (вид гиперпараметрического рассеяния) в полых волокнах, наполненных инертным газом. Излучение является одномодовым пространственно, а число продольных мод регулируется от 1 до 4.
9. Развита новые методы нелинейно-оптической генерации (оптическое выпрямление лазерных импульсов наносекундной длительности) и регистрации (прямое измерение наведенной мощности в электрооптическом кристалле) терагерцового излучения. Показано, что чувствительность новой схемы детектирования существенно превышает чувствительность стандартной схемы при частотах свыше 2 ТГц. Впервые в мире осуществлено квазисинхронное детектирование терагерцовых волн.

10. Обнаружен и экспериментально исследован в фоторефрактивном кристалле SPS новый эффект “конической дифракции”. Для аналитического описания процесса построена математическая модель, описывающая эффект усиления слабых мод рассеянного света в поле сильной накачки в фоторефрактивных кристаллах.
11. Построена иерархия моделей, описывающая эволюцию доменных структур в ферромагнитных пленках с внеплоскостной анизотропией. Показано экспоненциальное замедление процессов релаксации доменных структур.
12. Исследована неколлинеарная генерация второй оптической гармоники в кристаллах ниобата бария-стронция с игольчатыми микродоменами.
13. Разработан флуоресцентный метод определения физико-химических форм урана(VI) в их смеси, а также лазерный метод высокочувствительного детектирования радионуклидов в ядерных материалах. Проведены испытания метода на объектах ядерной промышленности.
14. Исследованы молекулярные механизмы, лежащие в основе процесса фотоадаптации цианобактерий.
15. Разработан ряд спектроскопических подходов к определению конформационных перестроек белковых макромолекул, в том числе, в биоматериалах
16. Показаны возможности ряда медицинских приложений оптической (в том числе, лазерной) спектроскопии: проведены исследования межмолекулярных взаимодействий в плазме крови при диабете; обнаружены проявления патологий предстательной железы в спектрально-кинетических характеристиках плазмы крови, полученных методом электрофореза; разработан метод *in vivo* диагностики сосудов на основе мультифотонной оптической томографии.
17. Разработана научная платформа и предложен метод управляемого синтеза новых классов функциональных нанокомпозитов на основе углерода: алмаз-мезопористый оксид кремния; наноалмазы, покрытые кополимером и фолиевой кислотой. Проведена успешная апробация новых нанокомпозитов в качестве флуоресцентных биомаркеров и носителей лекарств в клетках печени *in vivo*.
18. Разработан и апробирован на клеточных линиях метод оптической визуализации люминесцирующих наноалмазов и углеродных квантовых точек в биотканях с помощью искусственных нейронных сетей.
19. На основе лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния создан дистанционный экспрессный метод повышения достоверности молекулярных ДНК вычислений.

20. Теоретически предсказан и экспериментально обнаружен полиаморфный фазовый переход жидкость-жидкость (LL-transition) в процессе мицеллообразования в водных растворах додецилсульфата и октаноата натрия.
21. Обнаружены и исследованы гигантские резонансные нелинейно-оптические эффекты в 1D и 2D магнитных и плазмонных структурах.
22. Обнаружено усиление эффектов самовоздействия света и магнитного нелинейно-оптического эффекта при возбуждении резонанса локальных плазмонов в наночастицах металла, расположенных в магнитном диэлектрике.
23. Обнаружены и исследованы нелинейно-оптические эффекты, обусловленные хиральностью планарных метаматериалов.
24. Экспериментально обнаружена генерация синхронной второй оптической гармоники в геометрии Лауэ в 1D фотонных кристаллах.
25. Развита метод флуоресцентной спектроскопии отдельных флуорофоров многокомпонентных проб при капиллярном электрофорезе.
26. С помощью СТМ исследований и DFT вычислений выявлен структурный переход на поверхности силицена после адсорбции водорода, заключающийся в перегруппировке в двух подрешетках атомов кремния.
27. Экспериментально, методами сверхвысоковакуумной низкотемпературной СТМ/СТС, были изучены процессы формирования и электронные свойства квантовых систем атомных масштабов с различной пространственной размерностью («0»-, «1-» и «2-мерные»), образующихся вследствие адсорбции на поверхность полупроводников Ge(111)2x1 и InAs(110) единичных атомов магнитных металлов (Co, Cr). Изучено многочастичное взаимодействие адатомов германия на Ge(111) поверхности.
28. Создана установка микроскопии третьей оптической гармоники (ТГ), которая позволила непосредственно наблюдать локализацию генерации ТГ в диэлектрических нанообъектах и их олигомерах, а также связать ее с возбуждением в них дипольного магнитного резонанса.
29. Методом микроспектрополяриметрии (МСП) упорядоченных массивов трехмерно-хиральных отверстий в пленке серебра показано наличие в таких образцах кругового дихроизма и оптического вращения, величины которых достигают предельных значений. Для этого класса объектов такие результаты получены впервые.
30. Предложен новый тип неадиабатических электронных насосов, принцип работы которых основан на протекании нестационарного туннельного тока через систему трех связанных квантовых точек, взаимодействующих с берегами туннельного контакта при нулевом напряжении. Обнаружена блокада туннельного тока, связанная с

пространственной симметрией системы квантовых точек и способом их подключения к берегам контакта.

31. Рассмотрена эволюция двухуровневого возбужденного атома, взаимодействующего с квантованным электромагнитным полем, которое в начальном состоянии содержит один фотон, при различных граничных условиях, наложенных на поле. Исследована кинетика эволюции, спектральный и модовый составы возникающего в таких процессах поля излучения. Показано, что это поле в общем случае лишь отчасти состоит из двукратно заполненных мод.
32. Обнаружен динамический фазовый переход и критическое поведение в квазиульмерной квантовой системе – примесной модели Бозе-Андерсона
33. Построено гауссово приближение для динамики полярона в модели Фрелиха
34. Показано, что в квантовых коррелированных системах с испарением частиц больцмановский ансамбль формируется даже в отсутствие термодинамического равновесия с термостатом
35. Развита метод дуальных бозонов — диаграммная техника, позволяющая описывать многочастичные возбуждения в коррелированных системах
36. Показано, что двулучепреломляющий плазмонный метаматериал толщиной меньше длины волны может быть использован для преобразования состояния поляризации, обеспечивая полное покрытие поверхности сферы Пуанкаре.
37. Проведены исследования гибридных состояний таммовских и поверхностных плазмон-поляритонов в структуре фотонный кристалл/металлическая пленка. Продемонстрирована значительная модификация закона дисперсии поверхностного плазмон-поляритона при возбуждении таммовских плазмон-поляритонов в фотонных кристаллах.
38. На фемтосекундных временных масштабах экспериментально исследованы: временная динамика эффекта Керра в двумерных никелевых магнитолазмонных кристаллах; изменение поляризации в оптическом отклике плазмонных материалов (с помощью авторской методики стоксовой поляриметрии с временным разрешением); управление формой лазерного фемтосекундного импульса при отражении от одномерного магнитолазмонного кристалла.
39. Развита методика оптического пинцета. Реализована визуализация изучаемых объектов для исследования биологических клеток и измерения силовых взаимодействий между биологическими микрообъектами, а также детектирование малых смещений захваченных в оптический пинцет объектов с нанометровой точностью; осуществлено

измерение нелинейно-оптического отклика одиночных микро- и наночастиц, захваченных в оптический пинцет.

Научные публикации и участие в международных конференциях

За последние пять лет сотрудниками кафедры было опубликовано **247** научных статей (в предыдущие 5 лет было 205) в ведущих отечественных и зарубежных физических журналах (Physical Review Letters, Physical Review, Nanoscale, Optics Express, Journal of Physical Chemistry C, Applied Optics, Journal of Biophotonics, Applied Physics Letters, Phys. Rev A:, Euro.Phys.Lett., JOSA, Optics Letters, Optics Communications, Journal of Raman Spectroscopy, Surface Science и Письма в ЖЭТФ, ЖЭТФ, Квантовая электроника, Доклады АН, Фотоника др.), сделано более **330** докладов на научных конференциях, в том числе пленарных и приглашенных.

Участие в научных грантах и проектах

Важнейшей формой организационно-финансового обеспечения научных и научно-технологических исследований на кафедре является участие в российских и международных грантах и проектах. Всего **в настоящее время** под руководством сотрудников кафедры выполняется **46** грантов, проектов и контрактов. В 2011 – 2015 гг. сотрудники кафедры являлись руководителями **2** НИР; **4** грантов РФФИ, **6** проектов в рамках Государственного Оборонного Заказа, **67** грантов РФФИ (в 2006-2010 гг. – 63 грантов), **3** ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники"; **1** гранта Министерства образования и науки; **1** проекта Фонда Перспективных Исследований; **4** международных грантов FP7, гранта Еврокомиссии, CRDF; **7** грантов Президента РФ для молодых докторов и кандидатов наук; **1** гранта инновационных молодёжных проектов РАН и Национальной Ассоциации Инноваций и Развития Информационных Технологий (НАИРИТ). На кафедре выполняются работы по Договорам с ООО "Исследовательский центр "Самсунг", LG Electronics, с ООО НПФ «Сосны», **1** грант «Росатома». Кроме того, молодыми сотрудниками было получено более **20** индивидуальных единовременных грантов поддержки в рамках международных проектов, грантов РФФИ и др. Информация об **основных** выполненных и текущих грантах и проектах приведена в таблице.

ГРАНТЫ И ПРОЕКТЫ

Период	Всего получено грантов	РНФ	РФФИ (иниц., междунар., пригл. м. учен., ОФИ)	ГОЗ, ФПИ	FP7, CRDF и др.	ФЦП	Минобрнаука, Роснаука (Ростехрег.)	Молодые ученые (Гранты Президента и др.)
2006-2010	83	0	63	0	5	2	7	4
2011-2015	96	4	67	7	4	3	5	7
Действ. в 2016г.	46	4	28	7	2	1	2	3

Общий объем финансирования, привлеченного в рамках грантов и проектов в отчетный период, составил 533 млн.руб.

Научное сотрудничество.

Кафедра традиционно осуществляет научные связи со многими подразделениями МГУ, отечественными и зарубежными научными центрами и университетами. Научная работа на кафедре проводится в тесном сотрудничестве с кафедрами физического факультета МГУ (общей физики и волновых процессов; физики полимеров и кристаллов; магнетизма; колебаний; оптики, спектроскопии и физики наносистем и др.), Международным лазерным центром МГУ, НИИЯФ МГУ (лаборатория искусственного интеллекта), центром гидрофизических исследований, другими факультетами МГУ (кафедры органической химии, аналитической химии, радиохимии химического факультета; кафедра биофизики биологического факультета; кафедра физиологии и общей патологии факультета фундаментальной медицины и др.), ведущими исследовательскими центрами Москвы (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН; Институт общей физики им. А.Н. Прохорова РАН; Институт спектроскопии РАН; Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН; Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН; Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева РАН; Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН; Московский технологический университет (ранее – МИРЭА)); ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН (ранее – Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН); Институт общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН; и др.), Санкт-Петербурга (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе; Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и

оптики), Новосибирска (Институт физики полупроводников СО РАН), Нижнего Новгорода (Институт физики микроструктур, Институт прикладной физики РАН); Башкирским государственным университетом (г. Уфа), Институтом химии растворов им. Г.А. Крестова (г. Иваново), и др.

Партнерами кафедры по международному научному сотрудничеству являются исследовательские центры: *Австралии* (Австралийский национальный университет, Канберра); *Белоруссии* (Университет г. Гродно; Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск); *Бельгии* (Католический университет г. Левена); *Германии* (г. Берлин – Свободный Университет г. Берлина, Берлинский университет имени Гумбольдта, Технический университет Берлина, Клиника Шарите; г. Гамбург – Гамбургский университет; г. Йена – Институт прикладной физики, Университет им. Фридриха Шиллера; г. Саарбрюккен – Университет Саарлэнда; г. Эрланген – Институт Макса Планка); *Италии* (Институт Метрологии, г. Турин); *Китая* (Институт Физики китайской академии наук, г. Пекин); *Нидерландов* (Университет г. Наймеген); *Польши* (Университет г. Гданьск; Университет г. Белосток); *Сингапур* (Национальный университет Сингапура); *США* (Ратгерский университет, Нью-Джерси; Гарвардский университет, Массачусетс; Сандийские национальные лаборатории, Альбукерке; Международный Технологический Центр, Роли, Северная Каролина); *Тайваня* (Национальный Университет Тсинг-Хуа, Синьчжу; Национальный Центральный Университет, Таоюань; Национальный университет Тайваня, Тайбэй); *Финляндии* (университет г. Турку); *Франции* (Университет Бургундии, Дижон); *Японии* (Университет Тохоку, Сендай; Технологический университет Тойохаси, Тойохаси), и других стран.

Научно-организационная работа.

Сотрудники кафедры входят в состав различных научно-организационных структур, в том числе:

а) ученых советов:

- Ученого Совета МГУ,
- Ученого Совета физического факультета МГУ,
- Ученого Совета отделения радиофизики физического факультета МГУ,
- Ученого Совета МЛЦ МГУ;

б) диссертационных советов:

- 2-х Диссертационных советов в МГУ;
- Диссертационного совета в институте физики высоких давлений РАН;
- Московский технологический университет (ранее – МИРЭА);

в) членов программных и организационных комитетов Российских и международных конференций – на 18 конференциях, в том числе, на 4 в качестве председателя комитета;

г) редакционных коллегий научных журналов:

- "Успехи физических наук" (акад. Л.В. Келдыш; д.ф.-м.н. М.В. Чехова),
- "Solid State Communications" (акад. Л.В. Келдыш).
- "Laser Physics Review" (проф. С.П. Кулик)
- "Applied Mathematics & Information Sciences" (проф. С.П. Кулик)
- "Письма в ЖЭТФ" (проф. С.П. Кулик)
- "Laser Physics Letters" (проф. С.П. Кулик)
- "Laser Physics" (проф. С.П. Кулик)
- "International Journal of Quantum Information" (проф. С.П. Кулик)
- "Вестник Московского университета" (проф. А.А. Федянин)

д) экспертного совета ВАК:

- Председатель (проф. А.А. Федянин)

Молодые сотрудники кафедры принимают участие в организации и проведении Международных и Российских школ молодых ученых по современным проблемам квантовой электроники и физики конденсированных сред (в четырех за отчетный период).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отчётный период коллектив кафедры квантовой электроники продолжил наращивать свои усилия по всем направлениям научно-педагогической работы. За пять лет в учебный план кафедры введено 10 новых учебных курсов (включая курсы для аспирантов), продолжается чтение общего курса лекций «Введение в квантовую физику», который читается сотрудниками кафедры студентам в третьем семестре, подготовлена новая задача специального практикума. Деятельность кафедры отмечена различными знаками отличия, которыми удостоены сотрудники, аспиранты и студенты кафедры – персональные стипендии, гранты и премии. За отчетный период получено 97 грантов, проектов и контрактов (из них действующих в настоящий момент – 46), в том числе 2 НИР, 4 гранта РФФИ, 6 проектов в рамках Государственного Оборонного Заказа, 1 грант Министерства образования и науки, 1 проекта Фонда Перспективных Исследований, 4 международных грантов FP7, гранта Еврокомиссии, CRDF; проект по заказу Росатома. Выигран конкурс 2016г. на получение мегагранта по теме: «Нелинейная и экстремальная нанофотоника». Объём привлеченного финансирования по этим проектам составил 533 млн. руб. Опубликовано 247 научных работ в реферируемых журналах и сделано более 330 докладов на конференциях, причем около половины всех работ выполнено в соавторстве со

студентами и аспирантами. Защищено 19 кандидатских диссертаций. Выпущено 3 учебных пособия, 5 монографий и глав в коллективных монографиях. Значительно пополнилась материально-техническая база экспериментальных работ. Развиваются новые направления в различных областях квантовой электроники и физике конденсированных сред. Выполнены ключевые работы в рамках проектов НИР и ОКР, в которых уже получены приоритетные практические результаты. Разработана, создана (совместно с ФПИ) полностью автоматическая (без участия оператора) сетевая, оптоволоконная система защищенной квантовой связи, обладающая свойством регенерации. Параметры системы не уступают, а по защищенности превышают параметры зарубежных аналогов. Система квантовой связи успешно испытана на базе стандартных линий связи ПАО «Ростелеком» на расстоянии более 30 км. Между городами Подмосковья (Ногинск и Павловский Посад) был осуществлен обмен сообщениями, зашифрованными с помощью квантовых технологий.

В настоящее время теоретические и экспериментальные исследования, представленные на кафедре, отвечают передовым тенденциям развития науки и научных технологий, что позволяет осуществлять углубленную подготовку студентов по всем имеющимся на кафедре научным направлениям.

Развитие новых научных направлений преимущественно в современных областях квантовой электроники, квантовой оптики и обработки информации, физики конденсированных сред и нанофотоники требует сохранения существующих тенденций в учебной, научной и кадровой политике. На это и планируется направить усилия сотрудников кафедры с целью её дальнейшего развития.

Заведующий кафедрой квантовой электроники,
профессор

В. И. Панов