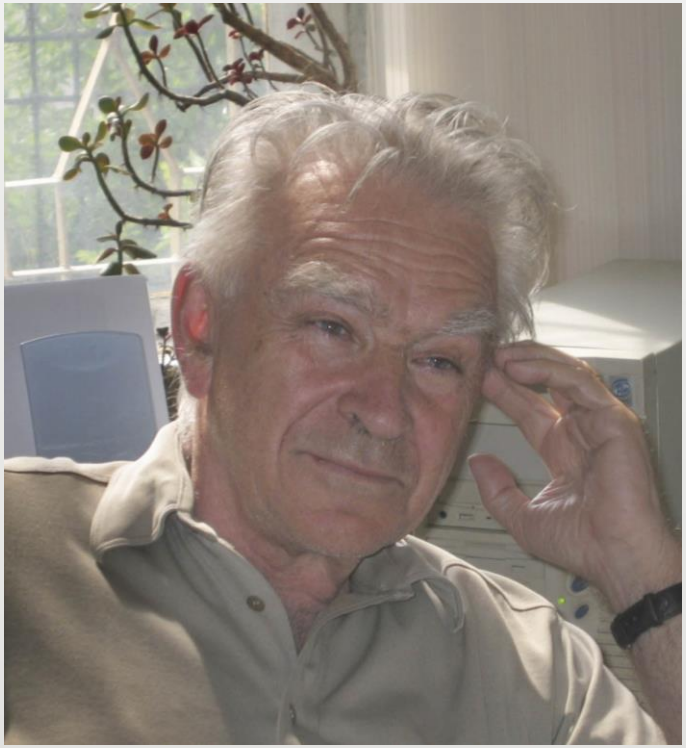
КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

Отчет кафедры квантовой электроники о научно – педагогической деятельности в 2017 – 2021 гг.

11 ноября 2021 г

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА



- Кафедра квантовой электроники (до 2001 г. – квантовой радиофизики) была создана в 1978 г.
- В результате реорганизации кафедры волновых процессов и кафедры общей физики для мехмата на отделении радиофизики образовались две новых кафедры – общей физики и волновых процессов под руководством *С.А. АХМАНОВА* и квантовой радиофизики, которой до 2001 года руководил академик *Л.В. КЕЛДЫШ*.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

7 апреля 2021 года исполнилось 90 лет со дня рождения основателя нашей кафедры академика Леонида Вениаминовича Келдыша. С целью признания заслуг Л.В. Келдыша как выдающегося ученого и организатора науки Российская Академия Наук с этого года учредила золотую медаль его имени, присуждаемую РАН российским ученым за выдающиеся работы в области физики конденсированного состояния. Комиссия РАН по присуждению медали имени Л.В. Келдыша приняла решение о награждении в этом году академика РАН Владислава Борисовича Тимофеева.

КАДРОВЫЙ СОСТАВ

	сентябрь 2021		октябрь 2016
на кафедре работают	**32**	**сотрудника**	**29**
в том числе	9	докторов наук	10
	18	кандидатов наук	15
профессорско-преподавательский состав	**10**	**человек**	**10**
в том числе	6	профессоров	6
	4	доцента	4
научный состав	**19**	**человек**	**16**
в том числе	2	ведущих научных сотрудника	2
	8	старших научных сотрудников	6
	3	научных сотрудника	3
	6	м.н.с., инж., физик	5
инж.-тех. и вспом. состав	**3**	**человек**	**3**
на кафедре обучаются	**94**	**студентов (24+25+27+18)**	**54**
	30	**аспирантов**	**34**

КАДРОВЫЙ СОСТАВ

КРОМЕ ПОСТОЯННЫХ СОТРУДНИКОВ КАФЕДРОЙ В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ (ЕЖЕГОДНО) ПРИВЛЕКАЛИСЬ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ, ВЕДУЩИХСЯ В РАМКАХ **НИР, ОКР И МЕГАГРАНТА** ПО НАПРАВЛЕНИЯМ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ, КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОФОТОНИКИ ДО **100** «ВНЕБЮДЖЕТНЫХ» НАУЧНЫХ СОТРУДНИКОВ, ИНЖЕНЕРОВ И ТЕХНОЛОГОВ.

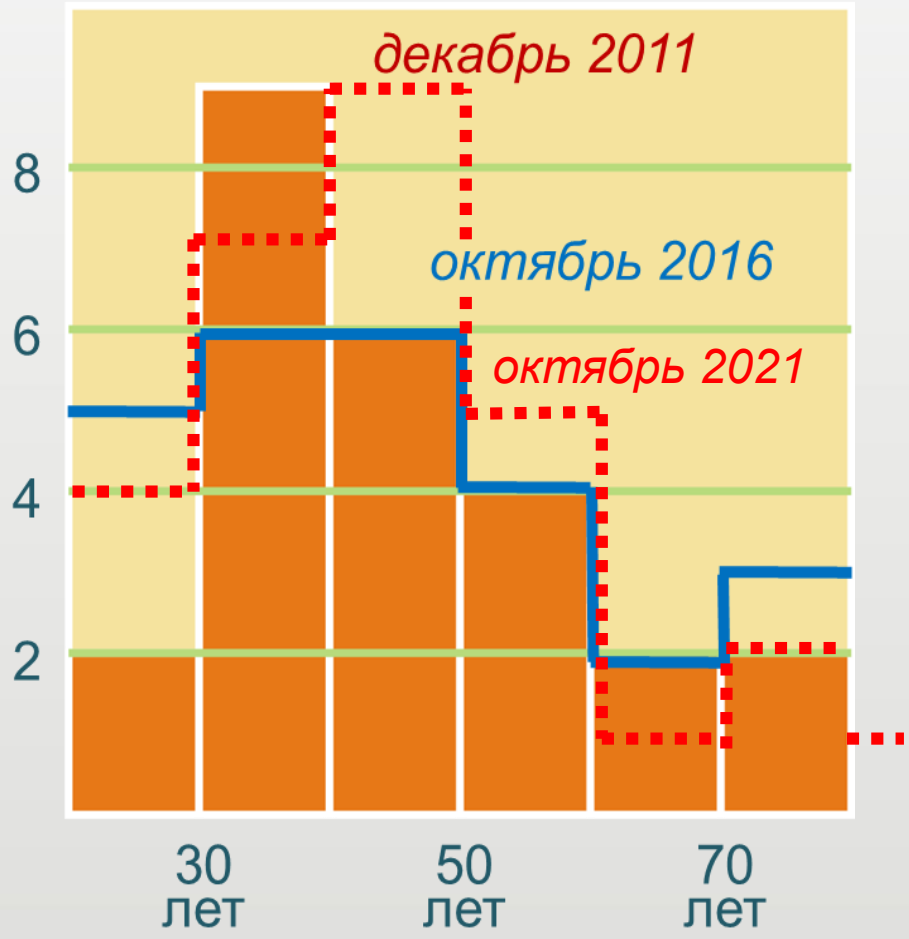
ВОЗРАСТ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО И НАУЧНОГО СОСТАВА

СРЕДНИЙ ВОЗРАСТ

2021 – **46** лет
2016 – **46** лет
2011 – **45** лет

МОЛОЖЕ 50 ЛЕТ

2021 – **69 %**
2016 – **64 %**
2011 – **65 %**



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАБОТА

ОБЩИЕ КУРСЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ:

Введение в квантовую физику (проф. А.Н. Рубцов)

Квантовая теория (доц. П.В. Елютин)

БАКАЛАВРИАТ:

Основные направления подготовки, вариативная часть (12 спецкурсов)

1. **Теория колебаний и волн (4 с/к)**
2. **Оптика (2 с/к)**
3. **Лазерная спектроскопия (2 с/к)**
4. **Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом (3 с/к)**
5. **Физика твердого тела (1 с/к)**

МАГИСТЕРСКИЕ ПРОГРАММЫ КАФЕДРЫ:		ЧИСЛО С/К
1. Квантовая электроника и квантовая оптика		
2. Квантовые вычисления (*с 2020 г.*)	*	23
3. Прикладная квантовая связь (*с 2020 г.*)	*	23
4. Биомедицинская фотоника (*с 2021 г.*)	*	21

* *- подготовлено или переработано за отчетный период*

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАБОТА

СПЕЦКУРСЫ ДЛЯ АСПИРАНТОВ

- Современные проблемы лазерной физики
- Основные модели и методы теоретического исследования электронного транспорта в наноструктурах
- * Физические основы квантовой информации
- Современные методы и возможности колебательной спектроскопии
- * Физические основы локальных методов исследования нанообъектов и наносистем
- Лазерные методы генерации и детектирования терагерцового излучения
- Адаптивные методы анализа данных для решения обратных задач оптической спектроскопии
- * Концепции и методы современной теории конденсированного состояния: равновесные системы

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ СПЕЦПРАКТИКУМА

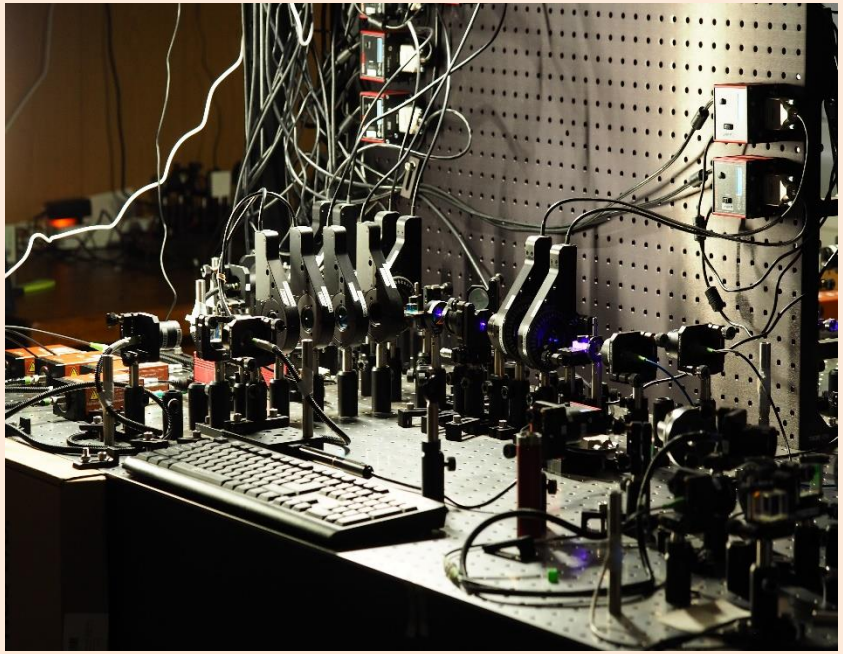
- Параметрическое рассеяние света
- Управляемые классические корреляции типа Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР)
- Сканирующая зондовая микроскопия *
- Квантово-механическое моделирование свойств нанообъектов *
- Оптический захват и манипулирование одиночными микро- и наночастицами в двойном оптическом пинцете *

* *- подготовлено или переработано за отчетный период*

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАБОТА

ЗАДАЧИ СПЕЦПРАКТИКУМА ДЛЯ МАГИСТРОВ ПРОГРАММ «Квантовые вычисления» и «Прикладная квантовая связь» *

- Поляризационные состояния и поляризационные элементы
- Проверка нарушения неравенств Белла
- Интерференция Хонга-Оу-Манделя
- Томография квантовых состояний и процессов
- Квантовая криптография
- Статистика фотонов
- Гомодинное детектирование
- Частотно-угловой спектр спонтанного параметрического рассеяния света
- Пространственный модулятор света



ИНФОРМАЦИЯ О КАФЕДРЕ: http:// quantum.phys.msu.ru

программы и конспекты лекционных курсов

темы курсовых работ для студентов 2-го курса

архивы *SEMINARIUM* ’а и кафедральных олимпиад для студентов *1 – 3* курсов

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

	2011 – 16	2017 –21
НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ	опубликовано статей / топ 25	
	811/247	985/263
	из них с участием студентов кафедры	
	130	142
ДОКЛАДЫ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ	сделано докладов	
	330	210
	из них приглашенных	
	50	42
ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИЙ	защищено докторских диссертаций	
	-	1
	защищено кандидатских диссертаций	
	19	15

МОНОГРАФИИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ: 9

ГРАНТЫ И ПРОЕКТЫ	2011 – 16	2017 –21	действуют в н/в
всего	96	182	48
РФФИ, ОФИ и Междунар.	67	91	17
РНФ/ Мегагрант	4	18/1	11
ГОЗ, ФПИ, НТИ	7	10	10
Минобрнаука, Ростех. и др.	5	7	7
Молодые ученые (гранты Президента РФ и др.)	7	58	6

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

ПРЕМИИ И ИМЕННЫЕ СТИПЕДИИ

СТУДЕНТЫ 29	стипендия им. М.В. Ломоносова	1
	Стипендия МГУ для аспирантов и студентов	1
	Стипендия фонда В.Потанина	1
	премия на конкурсе дипломных работ им. Р.В. Хохлова и МЛЦ им Н.И.Коротеева	6
	Стипендия фонда «Базис»	10
	Диплом первой степени за доклад на международной конференции «Ломоносов»	4
	Гранты для студентов по программе «УМНИК»	6
	Стипендия Президента РФ	3
	Стипендия Правительства РФ	4
	Стипендия им. М.В. Ломоносова для молодых ученых	2
АСПИРАНТЫ 37	Стипендии фонда «Базис»	11
	Конкурс работ, способствующих решению задач Программы развития Московского университета	4
	Грант на зарубежную стажировку некоммерческого фонда "Лифт в будущее"	1
	Конкурс молодежных инновационных проектов "УМНИК"	8
	Стипендии фонда «Интеллект»	3
	Стипендия сообщества SPIE	1

ПРЕПОДАВАТЕЛИ И НАУЧНЫЕ СОТРУДНИКИ > 60	Грант Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (*А.А.Федянин*)	1
	Грант Президента РФ для поддержки молодых российских ученых	6
	Конкурс работ, способствующих решению задач Программы развития Московского университета	31
	Диплом министерства науки и ВО РФ за участие в фестивале науки и технологий в рамках международного военно-технического форума «Армия – 2021»	1
	Грант Президента РФ для поддержки молодых российских ученых	6
	Стипендия ректора МГУ	2
	Премия Правительства Москвы молодым ученым	1
	Стипендия Президента РФ	1
	Стипендии фонда «Базис»	3
	Стипендия МГУ талантливым молодым сотрудникам и преподавателям	3
	Прочие стипендии и дипломы	10

Партнеры по международному научному сотрудничеству

Партнерами кафедры по международному научному сотрудничеству являются исследовательские центры: Австралии (Австралийский национальный университет, Канберра); Белоруссии (Университет г. Гродно; Научно-практический центр НАН Беларуси, г. Минск); Бельгии (Католический университет г. Левена); Бразилии (Федеральный Университет Санты Катарины, г.Санта-Катарина); Германии (г. Берлин – Свободный Университет, Университет имени Гумбольдта, Технический университет, Клиника Шарите; г. Гамбург – Гамбургский университет; г. Йена – Институт прикладной физики, Университет им. Фридриха Шиллера; г. Саарбрюккен – Университет Саарлэнда; г. Эрланген – Институт Макса Планка; г. Дрезден - Центр им. Гельмгольца Дрезден-Россендорф; Израиль (Университет Тель Авива, г. Тель-Авив); Италии (Институт Метрологии, г. Турин); Китая (Институт Физики китайской академии наук, г. Пекин; Школа физики Университета Нанкина; Цинхуа университет, г. Пекин); Нидерландов (Университет г. Наймеген; Медицинский университет Эразмус); Польши (Университет г. Гданьск; Сингапура (Национальный университет Сингапура); США (Ратгерский университет, Нью-Джерси; Гарвардский университет, Массачусетс; Тайваня (Национальный Университет Тсинг-Хуа, Синьчжу; Национальный Центральный Университет, Таоюань; Национальный университет Тайваня, Тайбэй); Финляндии (университет г. Турку); Франции (Университет Бургундии, Дижон); ЮАР (Университет Витватерсранд, г. Йоганесбург); Японии (Университет Тохоку, Сендай; Технологический университет Тойохаши, Тойохаши), и других стран.

НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- **Лаборатория квантовых оптических технологий / ЦКТ**
  руководитель: проф. С.П. КУЛИК
- **Нанооптика метаматериалов и наноструктур**
  руководитель: проф. А.А. ФЕДЯНИН
- **Нелинейная оптика наноструктур и фотонных кристаллов**
  руководитель: д.ф.м.н.,доц. Т.В. МУРЗИНА
- **Сканирующая зондовая микроскопия и наноэлектроника**
  руководители: проф. В.И. ПАНОВ, в.н.с. А.И. ОРЕШКИН
- **Лаборатория квантовой оптико-терагерцовой фотоники**
  руководитель: проф. Г.Х. КИТАЕВА
- **Лазерная биофотоника**
  руководители: проф. В.В. ФАДЕЕВ, с.н.с. Е.А. ШИРШИН
- **Лазерная спектроскопия растворов супрамолекулярных соединений и наноструктур**
  руководитель: в.н.с. Т.А. ДОЛЕНКО

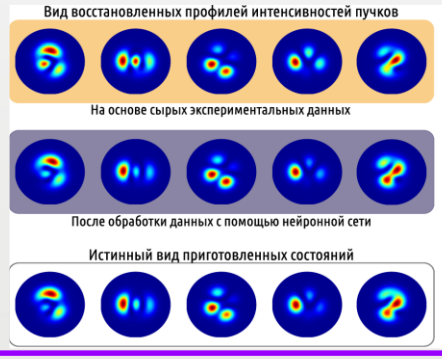
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

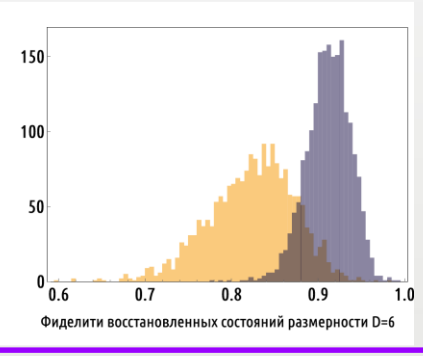
- **Конденсированные среды в сильных электромагнитных полях**
- **Теория и моделирование многочастичных квантовых систем**
- **Неравновесные эффекты и нестационарный электронный транспорт в коррелированных наноструктурах**
- **Динамика элементарных квантовых переходов**
- **Параметрическое рассеяние света в условиях пространственной или временной неоднородности**
- *проф. А.Н. РУБЦОВ, доц. П.В. ЕЛЮТИН, доц. Н.С. МАСЛОВА, доц. П.А. ПРУДКОВСКИЙ*

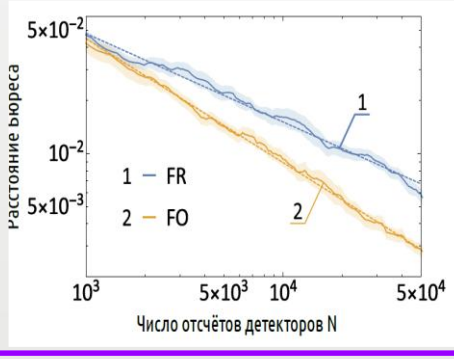
ЛАБОРАТОРИЯ КВАНТОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

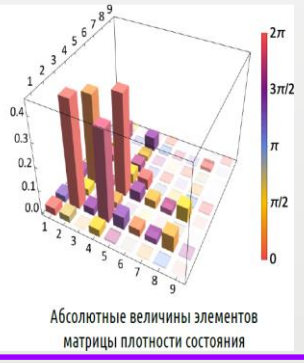
КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

1. Развиты томографические подходы к восстановлению квантовых состояний и квантовых процессов.

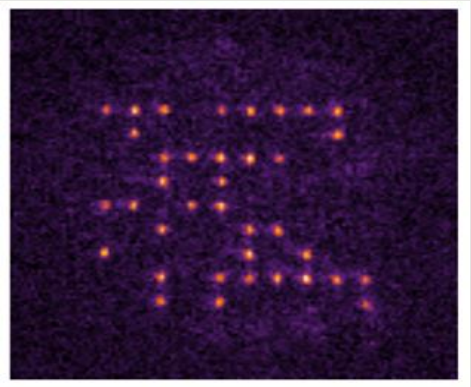


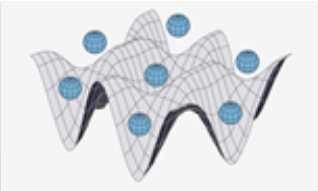




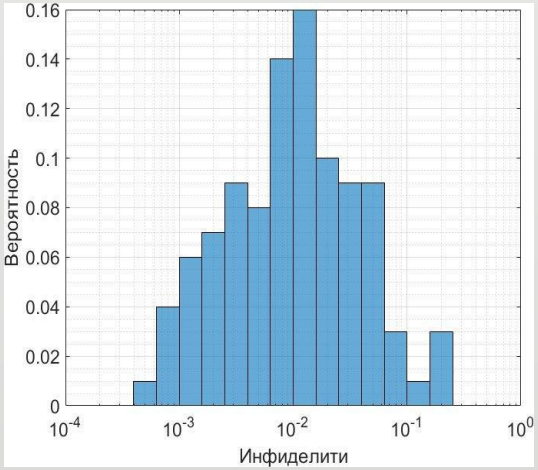


2. Построены экспериментальные комплексы квантовых вычислительных устройств на основе нейтральных атомов (100) и фотонных чипов (25 пространственных мод)

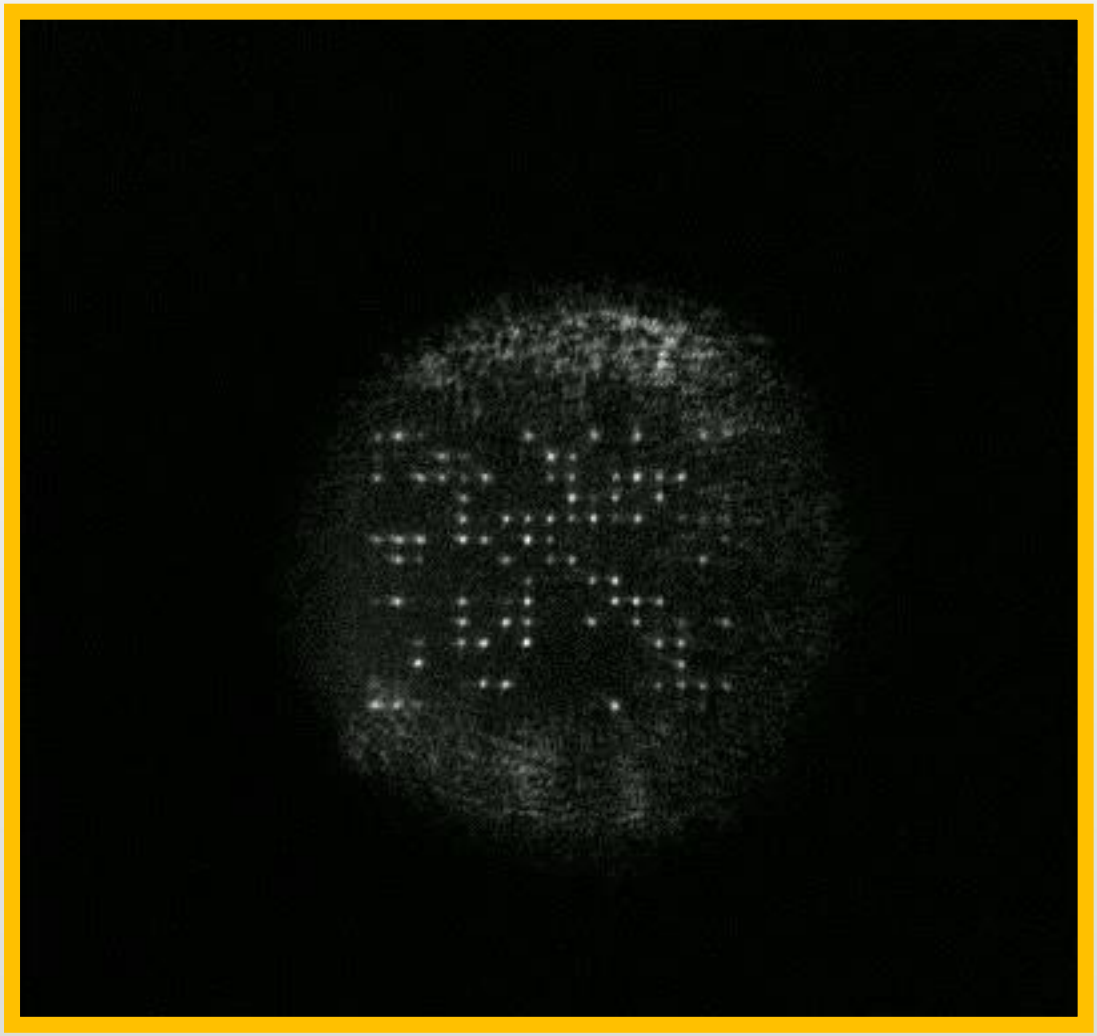




Точность реализации унитарных преобразований 98%



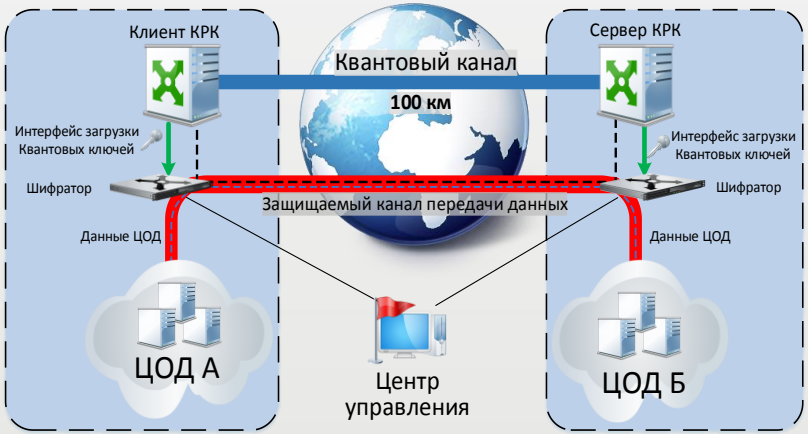
квантовое вычислительное устройство на основе нейтральных атомов



25 мкм

ЛАБОРАТОРИЯ КВАНТОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

3. Разработаны и построены системы квантовой криптографии на основе волоконно-оптических и атмосферных каналов связи



- Устойчивая работа на линии 60 км с затуханием18 дБ
- Обновление ключей ~1 раз/мин.
- Шифрование данных со скоростью 10 Гбит/с

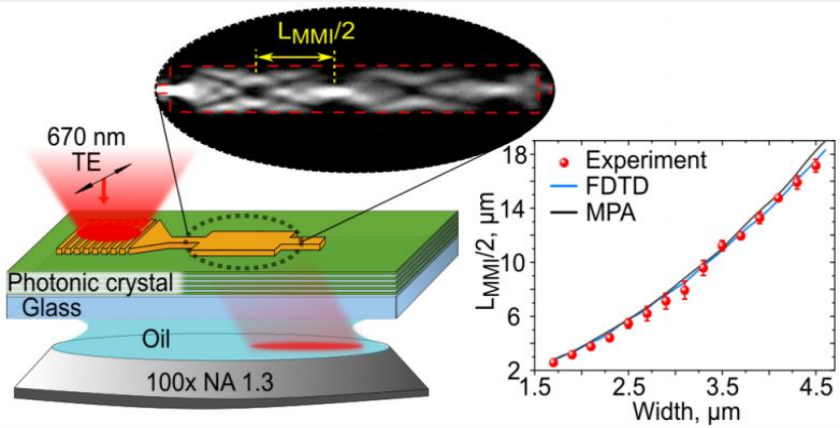
Базовый сценарий использования ViPNet Quandor– автоматическая доверенная доставка криптографических ключей для канальных шифраторов ViPNet L2-10G.

ViPNet Quandor в составе комплекса квантовой криптографической аппаратуры защиты информации собранного в мобильных кофрах для демонстраций и опытных эксплуатаций на сетях заказчика

4. Запущена Университетская квантовая сеть, включающая более 20 подразделений МГУ на обоих кампусах – совместно с индустриальным партнером ОАО «ИнфоТеКС»

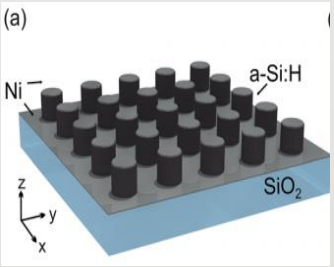
ЛАБОРАТОРИЯ НАНООПТИКИ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

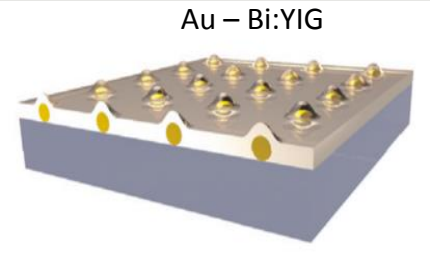
КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021



Продемонстрирован эффект многомодовой интерференции блоховских поверхностных волн

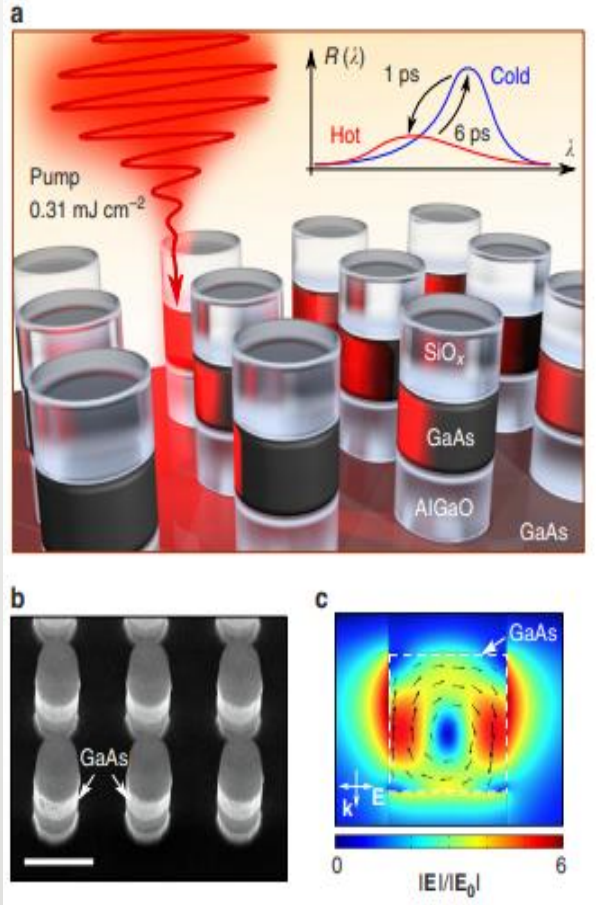
ACS Nano 14, 10428 (2020)





Показано многократное усиление магнитооптических эффектов в гибридных магнитофотонных метаповерхностях

APL Phot. 4, 016102 (2019), Appl. Phys. Lett. 115, 151102 (2019)

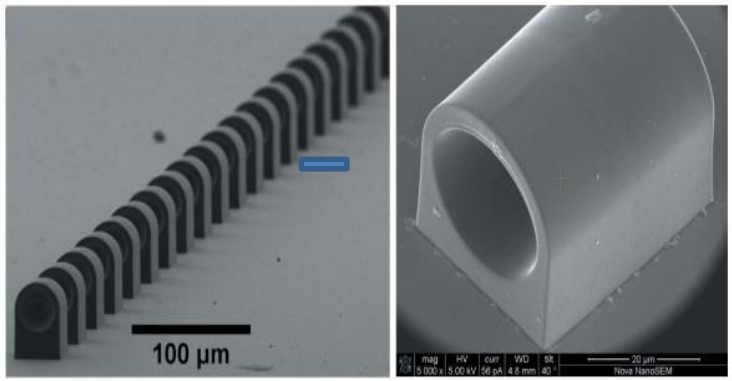


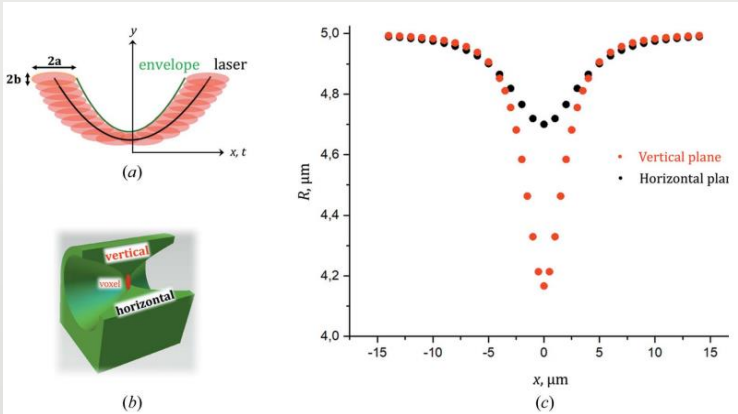
Реализована сверхбыстрая перестройка метаповерхности вблизи магнитодипольного резонанса

Nature Comm. 8, 17 (2017)

ЛАБОРАТОРИЯ НАНООПТИКИ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

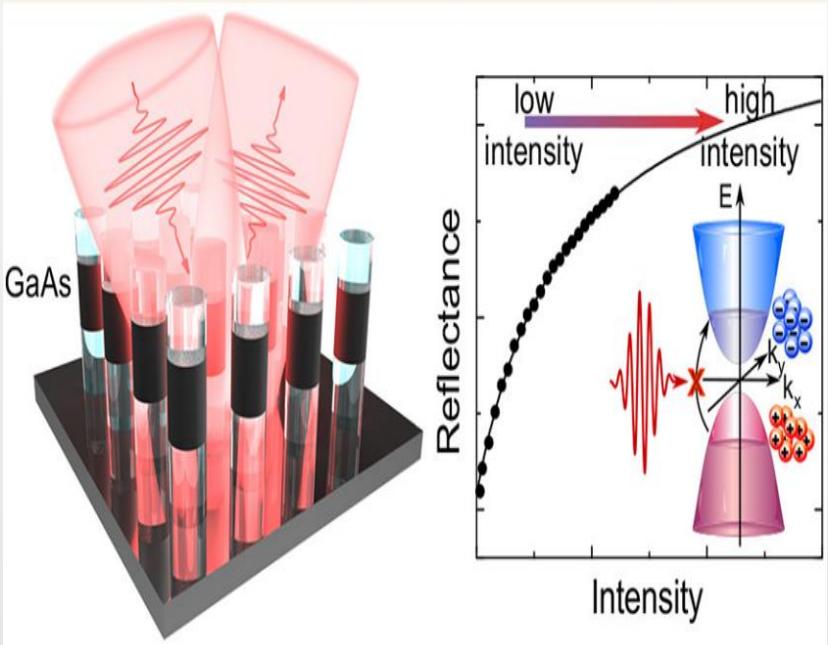
КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021





С помощью двухфотонной лазерной литографии созданы микролинзы для синхротронного рентгеновского излучения

J.Sync. Rad. **26,** 714 (2019)

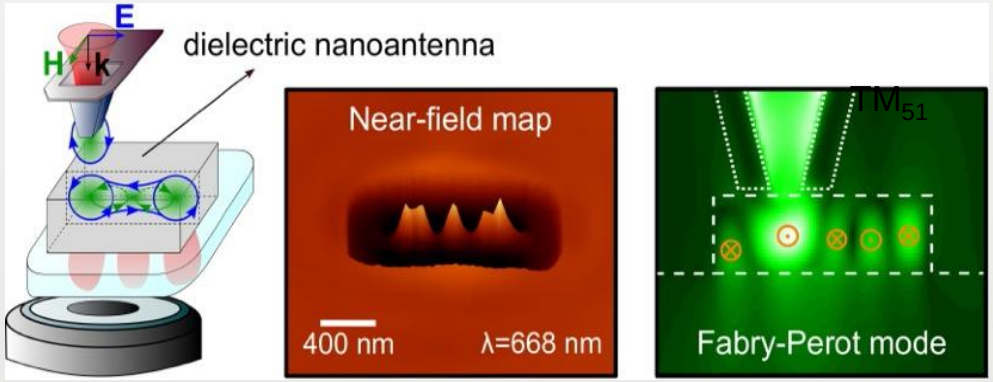


Экспериментально продемонстрировано насыщающееся поглощение в массивах наноцилиндров GaAs с магнитными дипольными резонансами. Наблюдаемая самомодуляция на порядок выше, чем в объемном GaAs или в неструктурированных пленках GaAs.

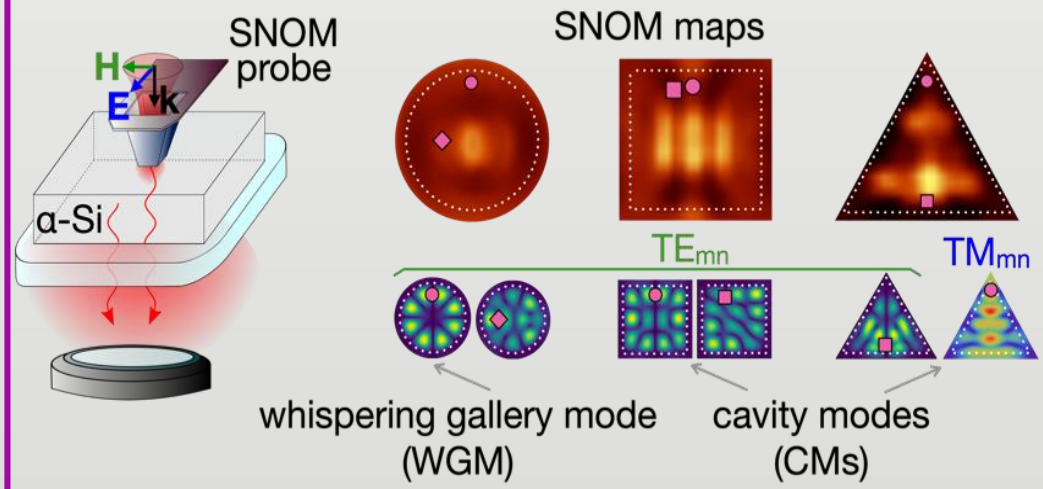
ACS Phot. 6, 2797 (2019)

ЛАБОРАТОРИЯ НАНООПТИКИ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ) кремниевых наноантенн



Выявлены детали локального распределения TM1n- и TE1n-оптических мод высокого порядка (n=3-9) типа Фабри-Перо в кремниевых наностержнях.
Nano Lett. 17, 7629-7637 (2017).



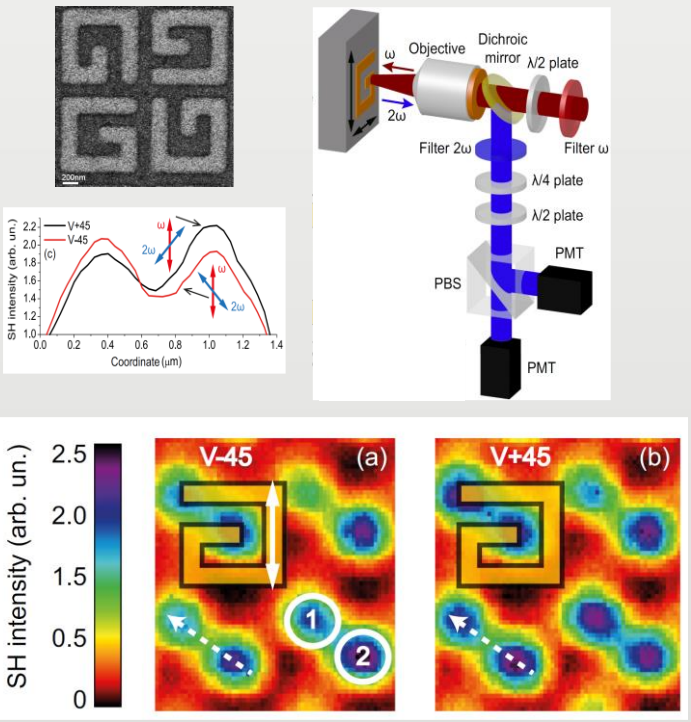
Определено локальное распределение TM- и TE-оптических мод высокого порядка типа Фабри-Перо в кремниевых наностержнях, мод шепчущей галереи и резонаторных оптических мод кремниевых наноантенн различной формы.
Nano Lett. 17, 7629-7637 (2017).

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ НАНОСТРУКТУР И ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

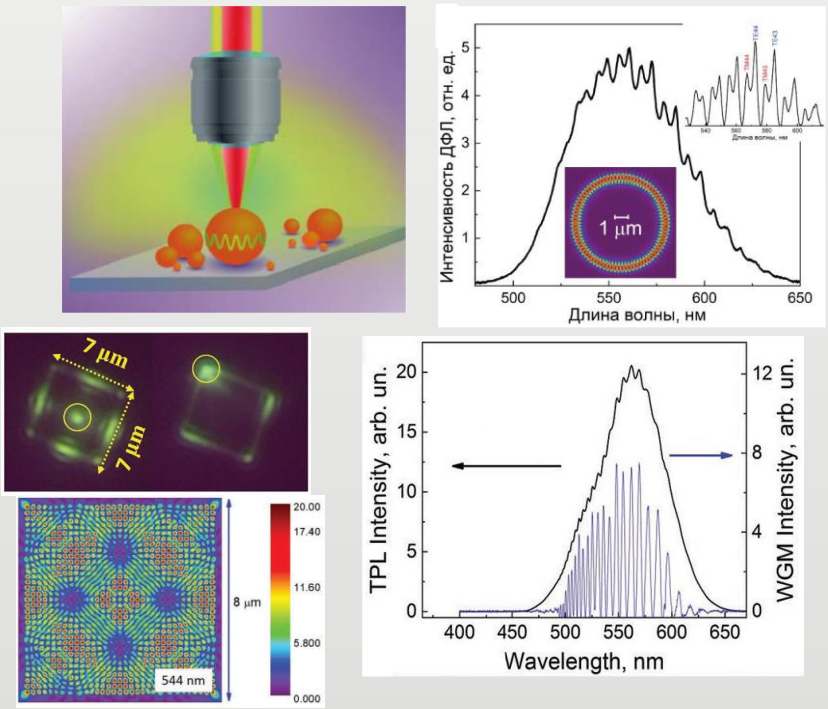
http://www.shg.ru

Для киральных метаповерхностей разработан нелинейно-оптический метод управления поляризацией и плазмонными эффектами на микромасштабе



Phys. Rev. B, **96**, 075408 (2017)

Методом нелинейно-оптической микроскопии обнаружены резонаторные моды и усиление нелинейно-оптических эффектов в органических микроструктурах



Adv. Optical Mater. **2020**, *8*, 1901317

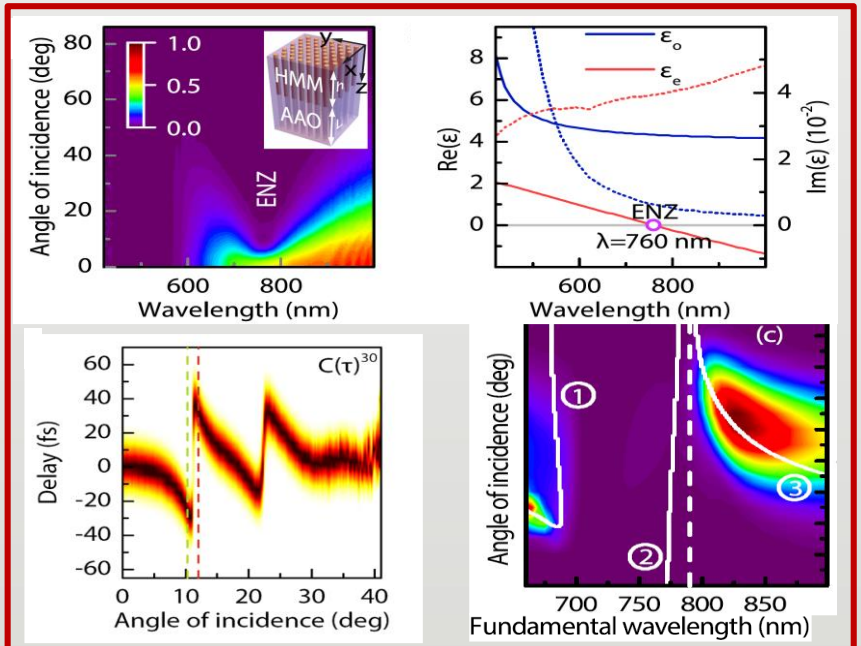
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ НАНОСТРУКТУР И ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 - 2021

http://www.shg.ru

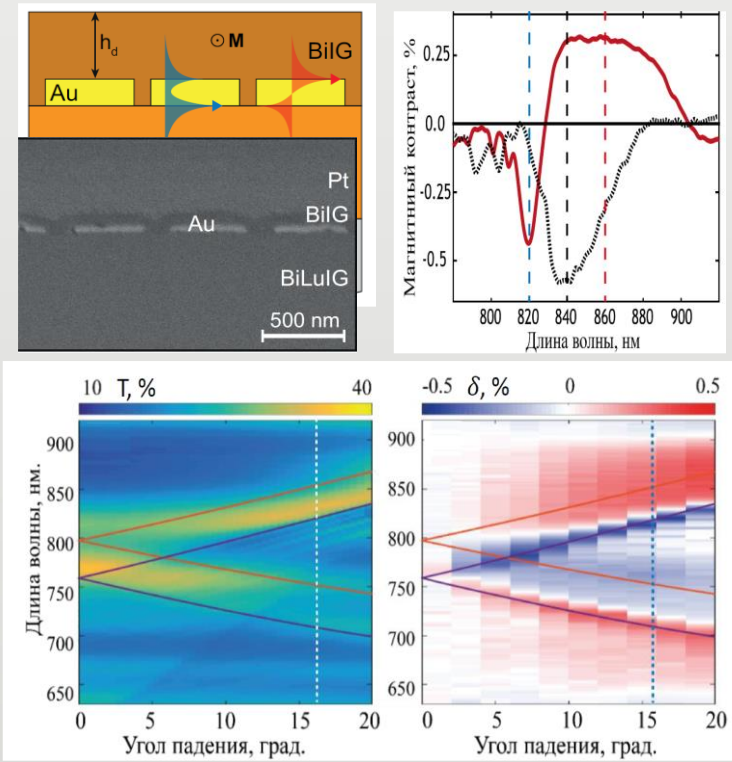
- Обнаружена генерация синхронной второй гармоники и усиление магнитооптического отклика гиперболических метаматериалов;
- Обнаружено сверхсветовое/замедленное распространение импульсов при переходе от эллиптической к гиперболической дисперсии метаматериала

$$\frac{k_x^2 + k_y^2}{\varepsilon_e} + \frac{k_z^2}{\varepsilon_o} = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2$$



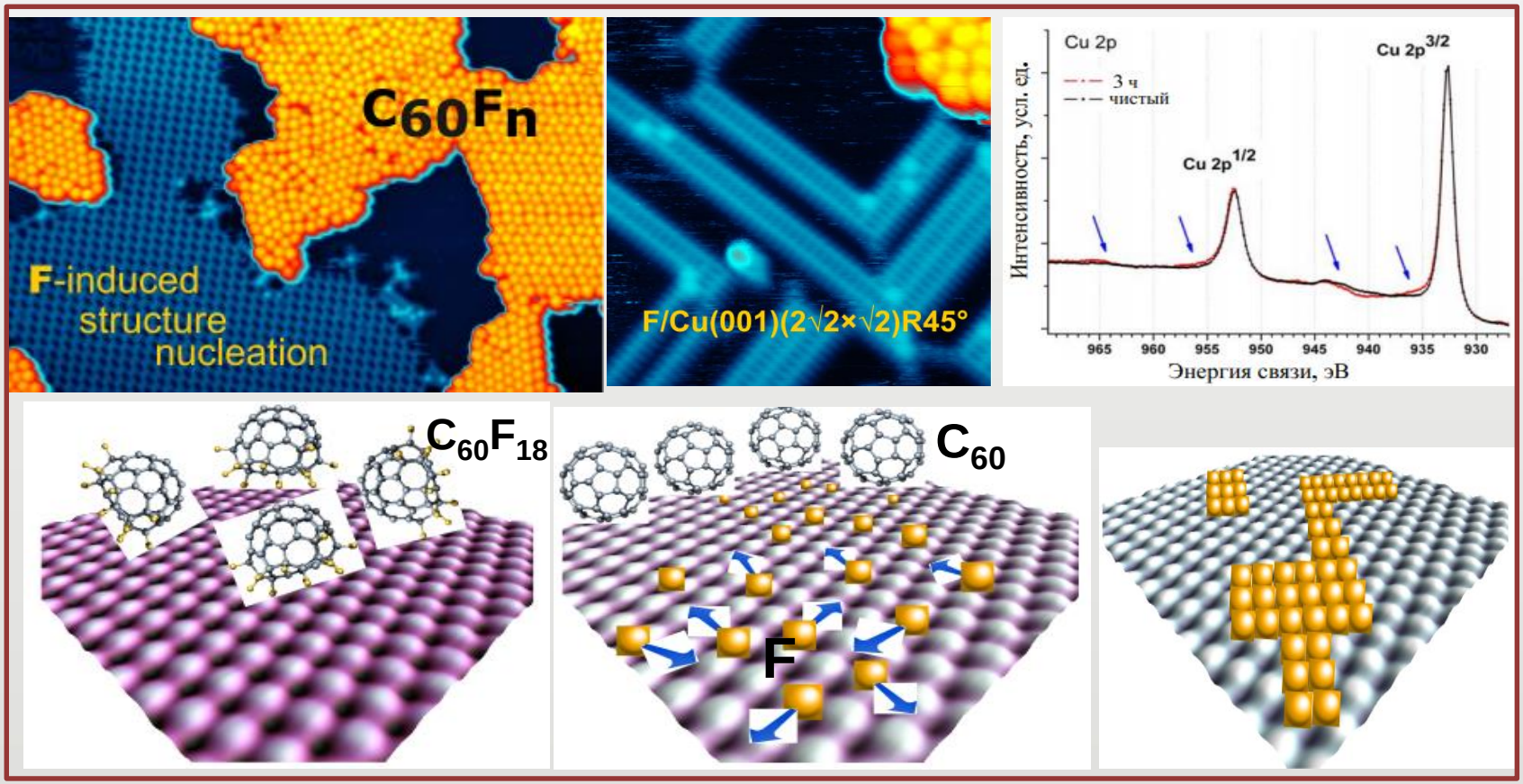
Phys.Rev. B **102**, 241405(R) (2020)

Обнаружено резонансное усиление магнитооптических эффектов в магнитоплазмонных волноводах на основе 1D решетки золота в магнитном диэлектрике



ЛАБОРАТОРИЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Разработан метод контролируемого фторирования поверхности с атомной локализацией при использовании молекул фторфуллеренов



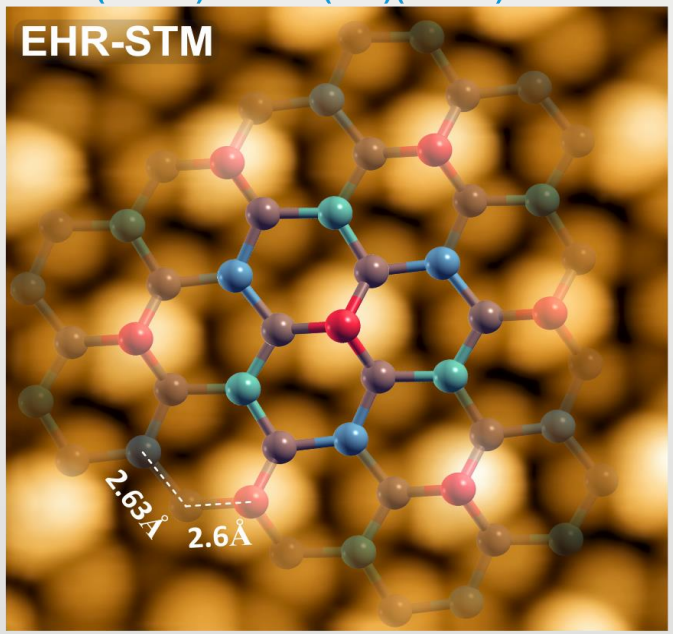
1. Определены условия распада молекул фторфуллеренов от степени их локализации и ориентации на поверхности. Продемонстрирована возможность модификации поверхности Si на атомных масштабах за счет локального травления.
2. Экспериментально методами СТМ и РФЭС показана возможность синтеза CuF.

Впервые продемонстрирована возможность синтеза графеноподобных 2D-материалов Si (силицена) и Ge (германена) на поверхности металлов

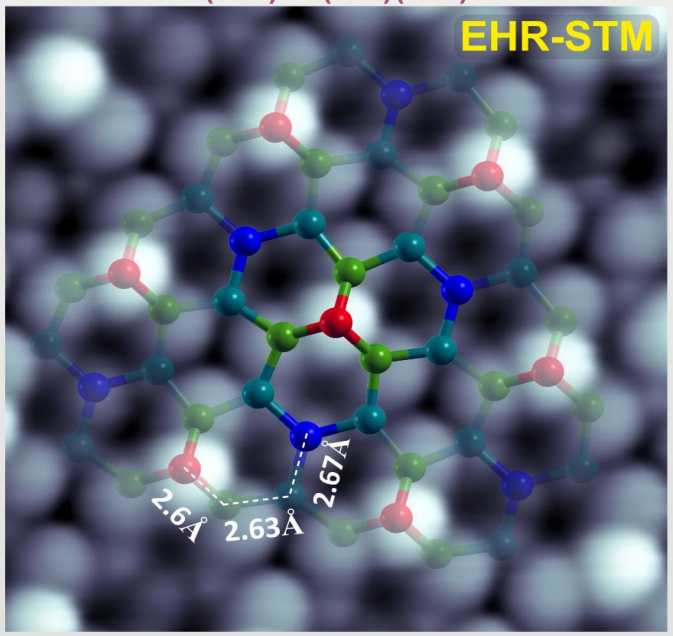
2D Графеноподобные Материалы

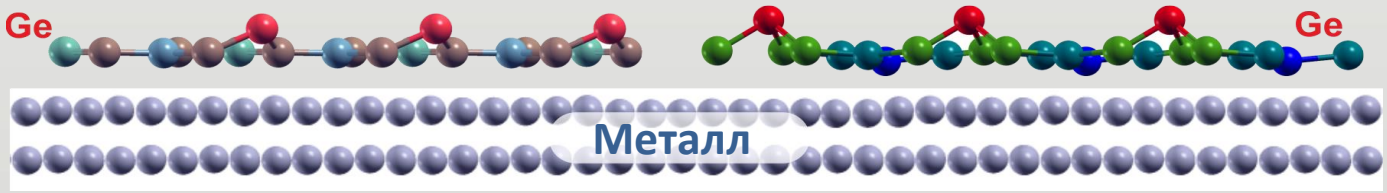
Германен

$(\sqrt{3}\times\sqrt{3})R30°/Al(111)(\sqrt{7}\times\sqrt{7})R19°$



$(2\times2)/Al(111)(3\times3)$



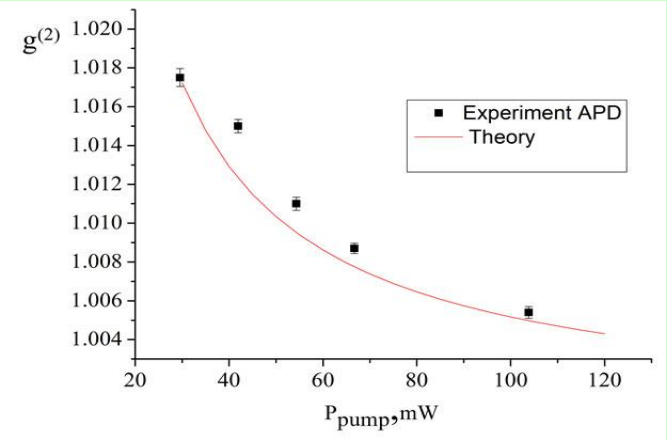


Nano Reseach, 12(12); 2988-2996, 2019

ЛАБОРАТОРИЯ КВАНТОВОЙ ОПТИКО-ТЕРАГЕРЦОВОЙ ФОТОНИКИ

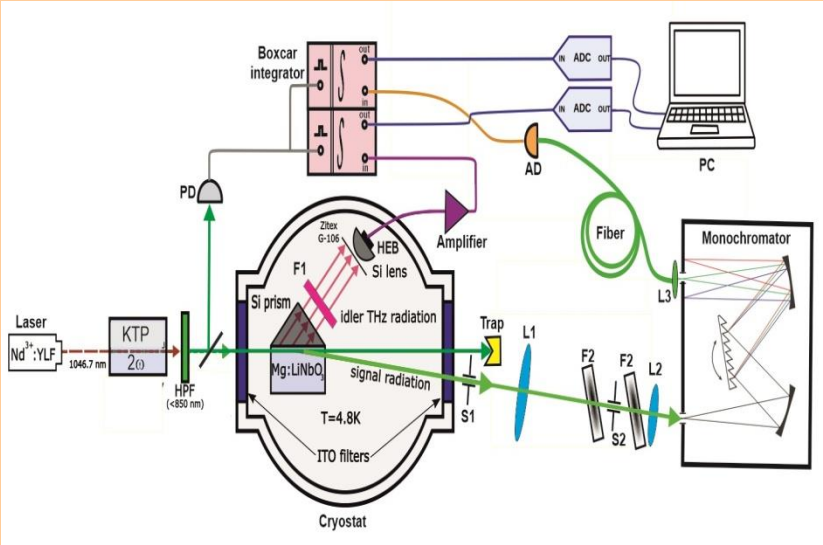
ГЕНЕРАЦИЯ ВЗАИМНО КОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОЛЕЙ ОПТИЧЕСКИХ И ТЕРАГЕРЦОВЫХ ЧАСТОТ

Зарегистрировано ТГц излучение, генерируемое при СПР в условиях рекордно низких коэффициентов оптико-терагерцового преобразования частоты



Physical Review A (2018), Optics Letters (2018), JETP Letters (2020)

Впервые в мире зарегистрирована квантовая корреляция между оптическими и терагерцовыми фотонами



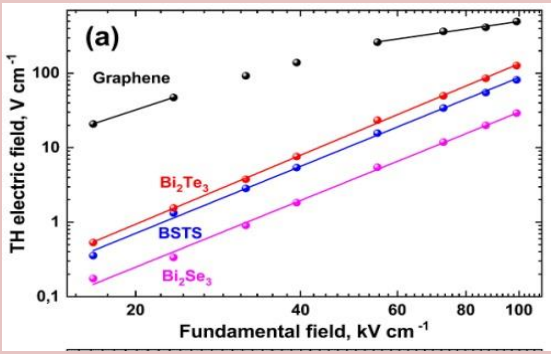
Physical Review A (2020), Applied Physics Letters (2020), JETP Letters (2021)

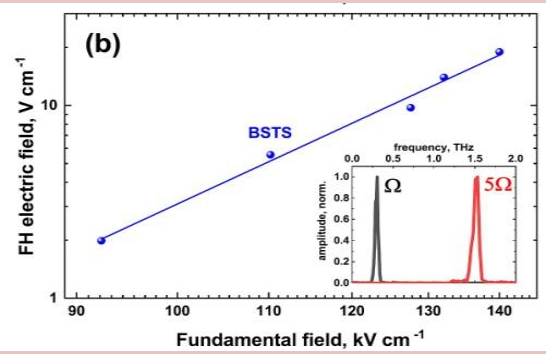
ЛАБОРАТОРИЯ КВАНТОВОЙ ОПТИКО-ТЕРАГЕРЦОВОЙ ФОТОНИКИ

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ АНТЕННАХ И ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРАХ

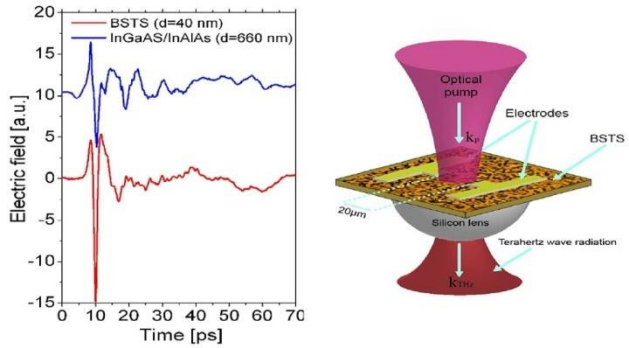
Обнаружены аномально высокие эффективности генерации нечетных терагерцовых гармоник в топологических изоляторах Bi_2Se_3, Bi_2Te_2 и $Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y}Se_y$ (BSTS), обусловленные сверхбыстрой релаксацией поверхностных состояний.





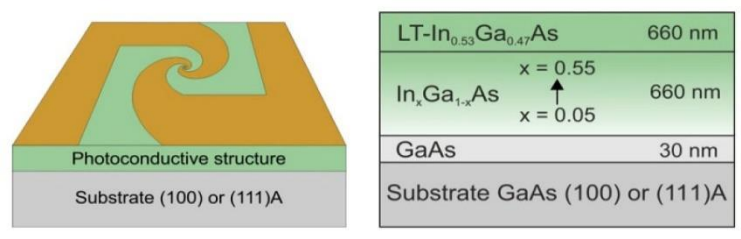
NPJ Quantum Materials (2021)

Реализован фотопроводящий механизм генерации ТГц-излучения в BSTS за счет поверхностных состояний



Applied Science, Optical Engineering (2021)

Обнаружено многократное увеличение мощности терагерцового излучения фотопроводящими антеннами на основе LT-InGaAs

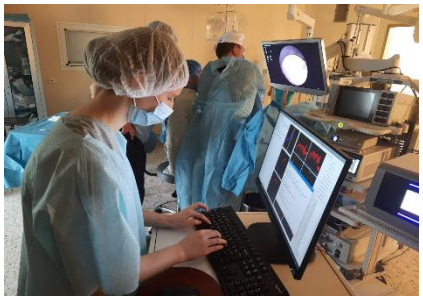


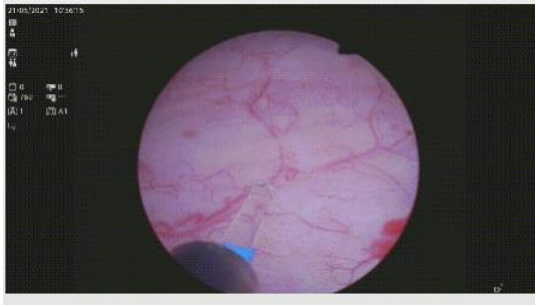
Electronics (2020)

ЛАБОРАТОРИЯ ЛАЗЕРНОЙ БИОФОТОНИКИ

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

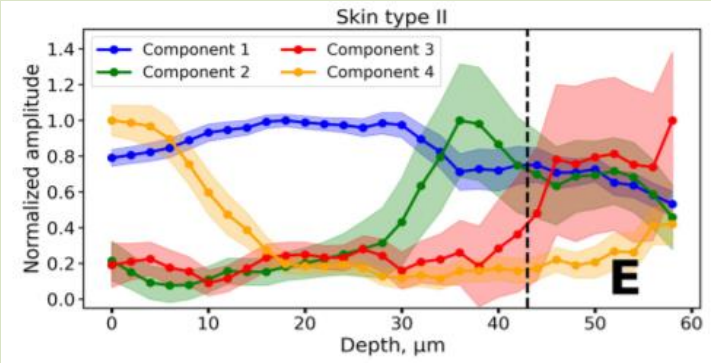
Разработана методика определения границы опухоли в задачах урологии на основе оптической спектроскопии





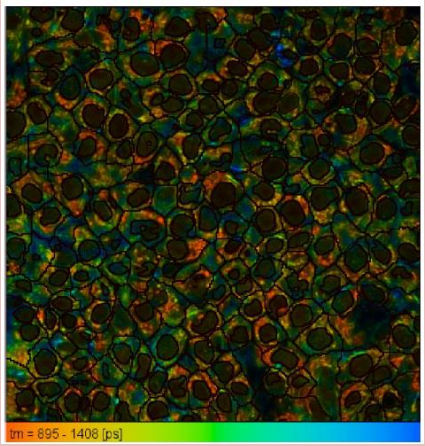
Тест-система для анализа мочи в акушерстве и урологии

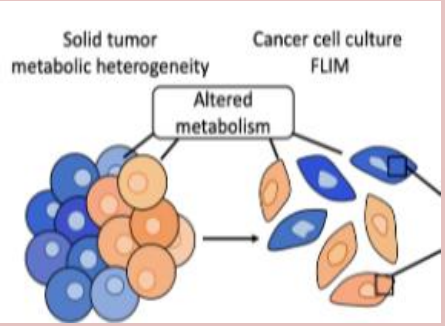
Разработан метод неинвазивного анализа состава кожи методами оптической спектроскопии и машинного обучения



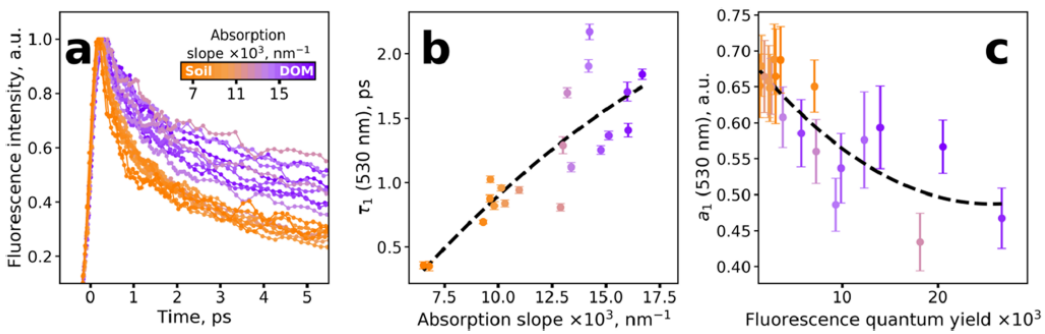
Analyst (2021)

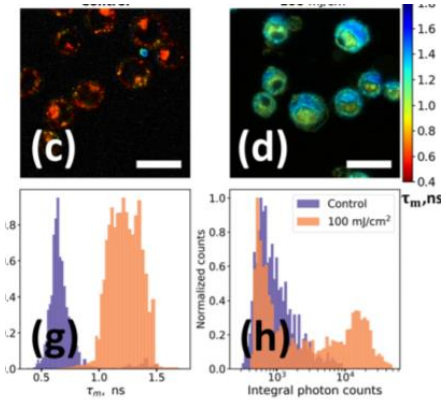
Разработан метод селективного анализа флуоресцентного отклика раковых клеток на противоопухолевую терапию





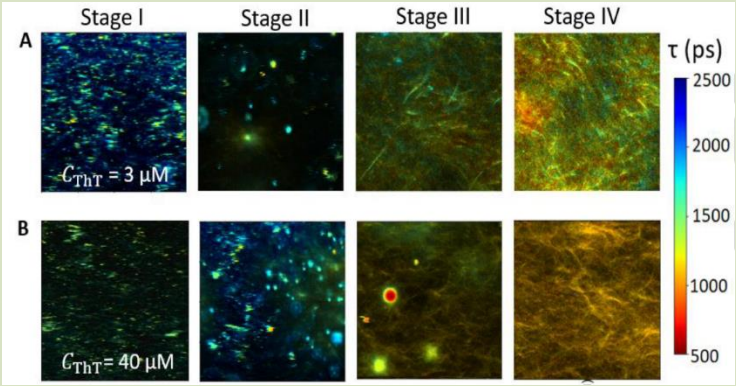
Предложена модель формирования поглощения и флуоресценции биотканей в красной и ИК спектральных областях





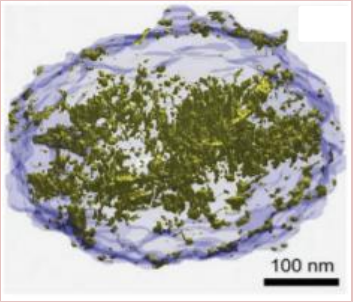
Environmental Science&Technology (2018, 2020, 2021)

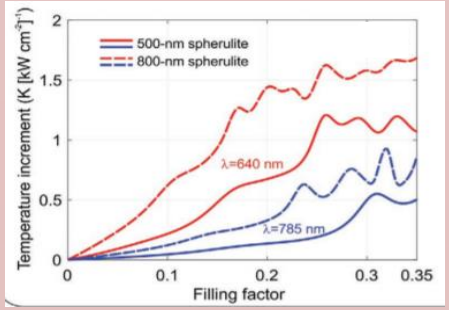
Реализовано оптическое управление кинетикой сборки и механическими свойствами пептидных биоматериалов



Angewandte Chemie 29 (2021)

Разработаны метаматериалы с перестраиваемыми оптическими свойствами в области «окна прозрачности» биотканей для терапии и доставки лекарств



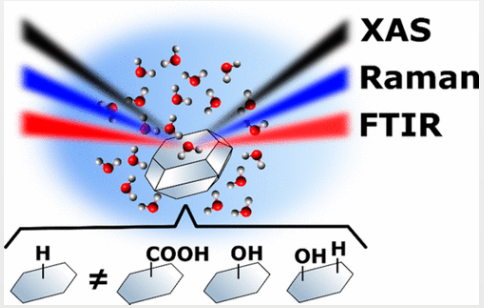


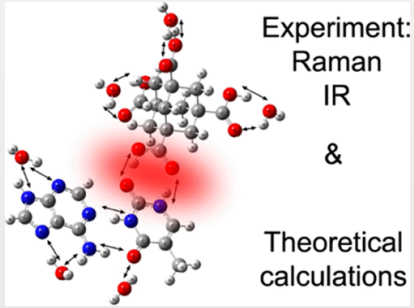
Advanced Materials (2021)

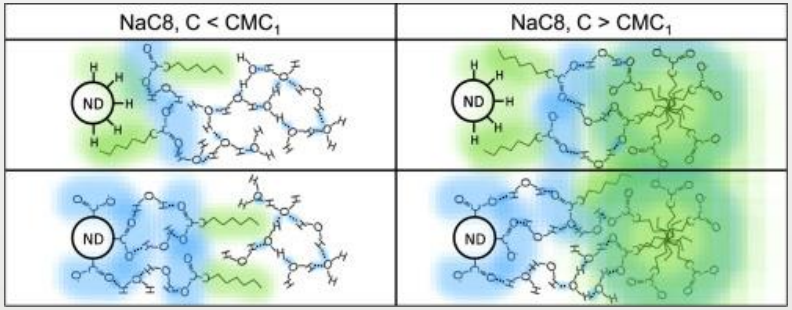
ЛАБОРАТОРИЯ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ РАСТВОРОВ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И НАНОСТРУКТУР

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

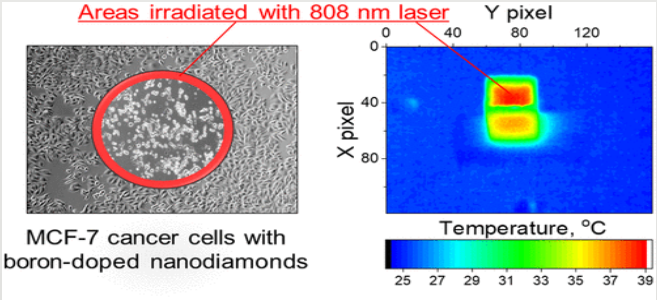
Установлено влияние модификации поверхности наноалмазов на их свойства и взаимодействие с биомакромолекулами





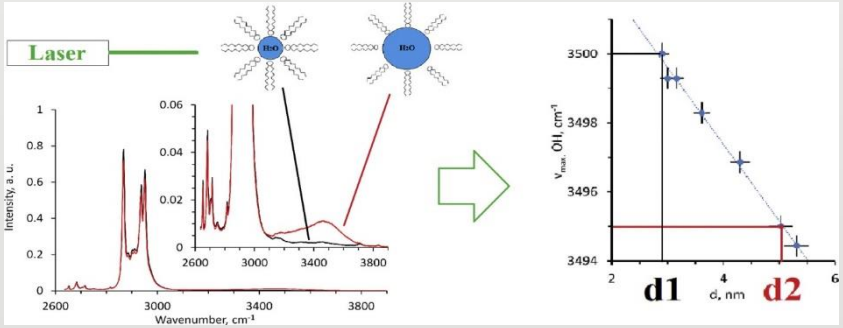


J. Phys. Chem. C 121, 9 (2017), J. Phys. Chem. C 122, 20 (2018), J. Colloid Interface Sci. 547 (2019)



Обнаружена способность наноалмазов, легированных бором, разрушать раковые клетки посредством гипертермии и термоабляции

ACS Biomater. Sci. Eng. 6, 8 (2020)



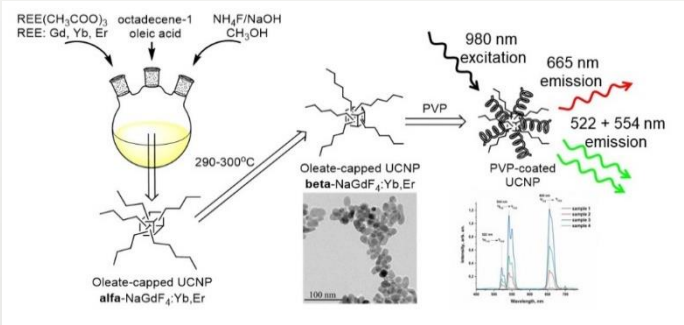
Впервые предложен метод лазерной дистанционной диагностики обратных мицелл в тройных системах и их самоорганизации

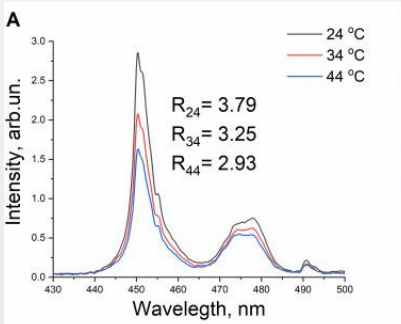
J. Mol. Liq., 325 (2021)

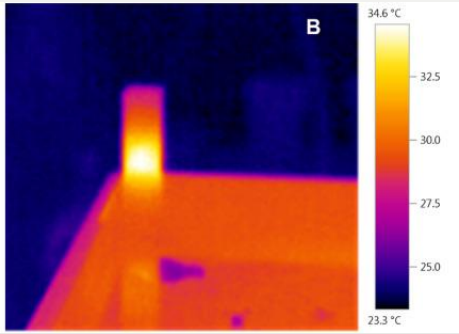
ЛАБОРАТОРИЯ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ РАСТВОРОВ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И НАНОСТРУКТУР

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ 2017 · 2021

Синтез и исследование наночастиц с антистоксовой люминесценцией



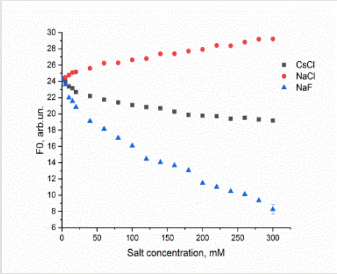


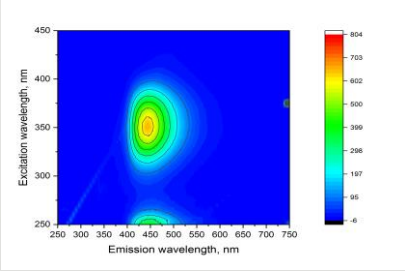


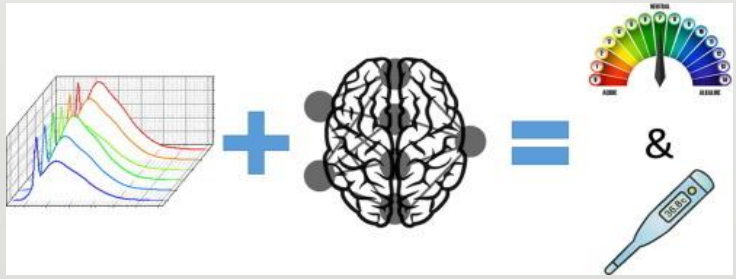
Разработан и апробирован в биоткани клеточный нанотермометр с использованием наночастиц (~10 нм) β-NaYF4: Yb3+/Tm3+

Nanosystems: PCM 12,2 (2021), Spectrochimica Acta Part A, 241 (2020)

Применение искусственных нейронных сетей







На основе углеродных наночастиц разработаны наносенсоры тяжелых металлов в жидких средах

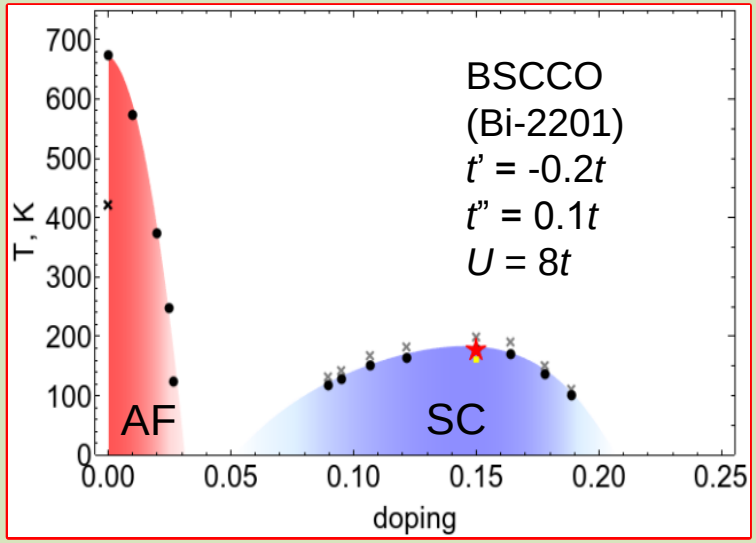
Fuller. Nanotub. Carbon Nanostructures 29 (2021)

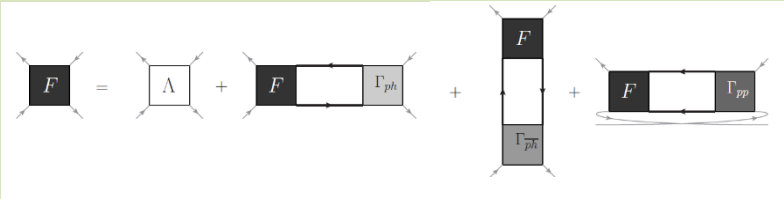
Создан флуоресцентный наносенсор pH и локальной температуры жидких сред с помощью оксидов нанографена

Spectrochimica Acta Part A, 241 (2020)

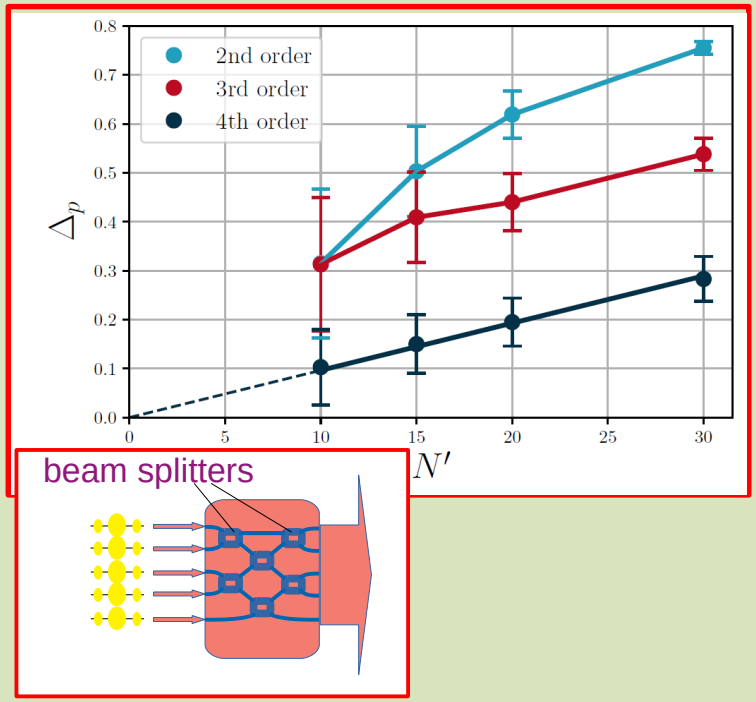
ТЕОРЕТИКИ

профессор А.Н. Рубцов





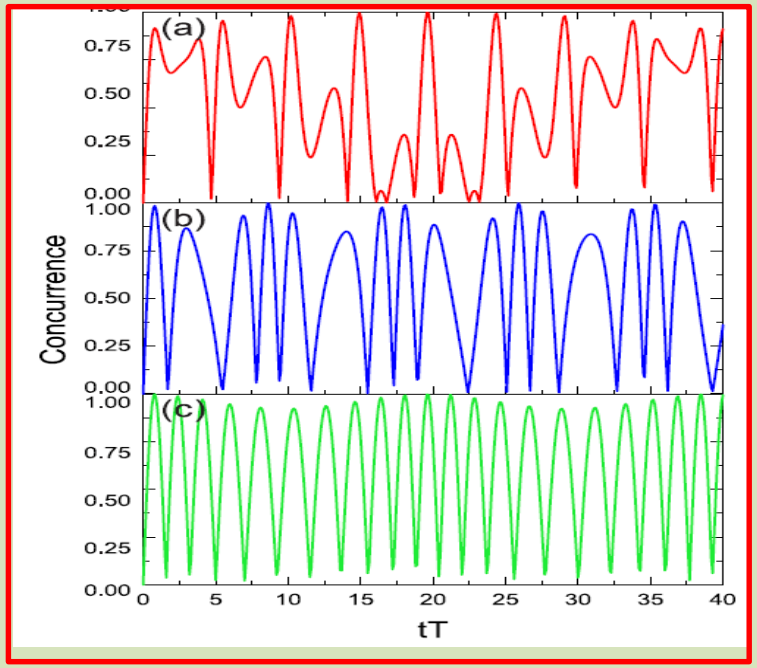
Разработана техника учета флуктуаций коллективных мод в коррелированных системах, которая позволила воспроизвести фазовую диаграмму ВТСП-купратов, описываемых моделью Хаббарда



Построен набор полиномиальных приближений для статистики фотоотсчетов установок гауссового бозонного семплинга (точное решение этой задачи требует экспоненциально большого количества операций)

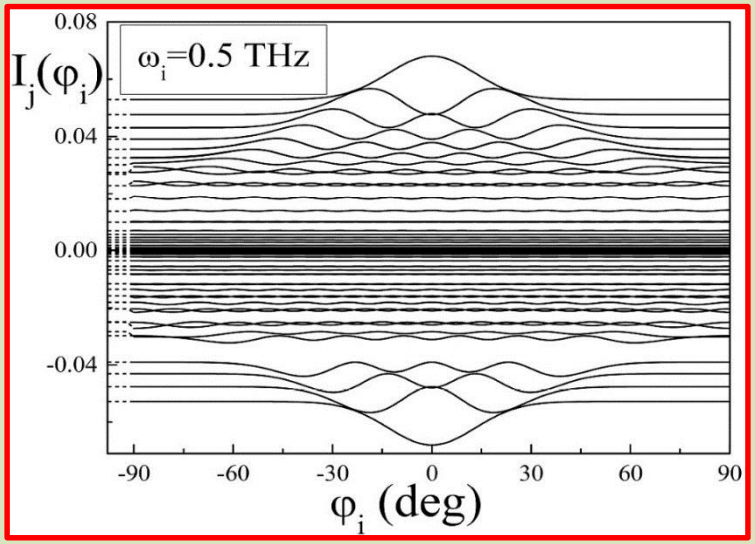
ТЕОРЕТИКИ

доцент Н.С.Маслова



Предложена схема идентификации двухэлектронных состояний квантовых точек и молекул с помощью анализа нестационарных токов и остаточного заряда. В результате зависимости положения ионов от электронного заполнения могут формироваться состояния вибрационной моды вида «Schrödinger cat»

доцент П.А.Прудковский



$$\hat{a}_i^+(\varphi_i, L) = \sum_j U_j(\varphi_i)\left\{\hat{b}_j^+(0)\operatorname{ch} g_j - i\hat{c}_j(0)\operatorname{sh} g_j\right\}$$

$$\hat{a}_s^+(\varphi_s, L) = \sum_j \tilde{U}_j^*(\varphi_s)\left\{\hat{c}_j^+(0)\operatorname{ch} g_j - i\hat{b}_j(0)\operatorname{sh} g_j\right\}$$

Получены собственные угловые моды бифотонного оптико-терагерцового излучения и матрица рассеяния, описывающая сильно невырожденное параметрическое рассеяние света при произвольных коэффициентах параметрического усиления

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ