



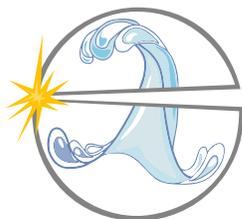
СИБИРСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN  
FEDERAL  
UNIVERSITY



ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Л.В. КИРЕНСКОГО  
Сибирского отделения Российской академии наук  
ФИЦ КНЦ СО РАН

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**



# **ЕНИСЕЙСКАЯ ФОТОНИКА — 2022**

## **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

### **ТОМ 2**

Красноярск  
19–24 сентября 2022 года

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

Российская академия наук  
Сибирское отделение  
Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр»  
Институт физики им. Л. В. Киренского

## **ЕНИСЕЙСКАЯ ФОТОНИКА – 2022**

Всероссийская научная конференция  
с международным участием

тезисы докладов

Том 2

19–24 сентября 2022 г.

Красноярск  
2022

УДК 535  
ББК 22.34  
Е 63

**Енисейская Фотоника – 2022. Всероссийская научная конференция с международным участием. Тезисы докладов.** 19–24 сентября 2022 года, Красноярск. Т. 2. – Изд-во ИФ СО РАН, 2022. – 164 с.

В сборнике представлены тезисы докладов второй Всероссийской научной конференции с международным участием «Енисейская Фотоника – 2022», проходившей в г. Красноярске с 19 по 24 сентября 2022 г. Сборник предназначен для научных сотрудников, аспирантов, преподавателей и студентов, интересующихся проблемами фотоники, оптики и спектроскопии. Подготовка и проведение конференции осуществлены при поддержке Красноярского краевого фонда науки (договор № 313 от 09.06.2022) и Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства образования и науки Российской Федерации. Тексты печатаются по решению Программного комитета конференции в авторской редакции.

ISBN 978-5-6045250-1-2

ISBN 978-5-6045250-1-2



© Коллектив авторов, 2022  
© Сибирский федеральный университет, 2022  
© Институт физики им. Л. В. Киренского, 2022

ЭМТИОН - это российская компания, специализирующаяся на производстве и поставках аналитического и технологического оборудования.

## Атомно-силовая микроскопия



Поддержка всех существующих методик измерений (атомно-силовая микроскопия, магнитно-силовая микроскопия, электро-силовая микроскопия, силовая микроскопия пьезоотклика, измерения в вакууме, в жидкости, электрохимических средах и др.)

Прыжковая микроскопия для количественного наномеханического анализа

Диапазон сканирования 100x100x10 мкм

Разрешение по оси Z - 0,05 нм

## Конфокальная Рамановская микроскопия



Два автоматически переключаемых лазера в видимом диапазоне длин волн

Пространственное разрешение по XY 390 нм (при использовании лазера 473 нм, 100x, NA 0.95)

Спектральный диапазон 400-1100 нм

Спектральное разрешение 0.25 см<sup>-1</sup> (решётка 75 штр/мм Эшелле и лазер 532 нм)

Регулируемый пинхол

## Оптическая микроскопия



Реализация режимов работы в светлом и темном поле, эпифлуоресценции, поляризации, дифференциально-интерференционного контраста. Доступные объективы 10x, 20x, 40x, 50x, 100x, 150x

Моторизованная турель для установки до 6ти объективов

Размер исследуемых образцов до 300мм в диаметре

Светодиодные широкополосные осветители

Ведущие специалисты компании имеют 15-летний опыт работы в области приборостроения. ЭМТИОН может предложить Заказчикам как отдельные конкурентные решения, так и комплексное оснащение лабораторий, начиная с этапов проработки концепции и предпроектных работ и заканчивая вводом оборудования в эксплуатацию.

## Комбинированные АСМ – Раман системы



Одновременные исследования образцов методами сканирующей зондовой микроскопии и конфокальной микроскопии/ спектроскопии комбинационного рассеяния (Раман)

Зондово-усиленная Рамановская/ флуоресцентная спектроскопия (TERS, EFS5, TERFS)

Одновременное использование до 5-ти лазеров, полная автоматизация

Быстрое сканирование (1000x1000 точек за 3 сек.)

## Электронная микроскопия



Термоэмиссионный катод / катод типа Шоттки

Ускоряющее напряжение 0.1 - 30 кВ

Увеличение от 6 до 1 000 000X

Разрешение до 1 нм

Моторизованный по 5-ти осям предметный столик

Опции низкого вакуума и низкого ускоряющего напряжения

Система энергодисперсионного микроанализа

Широкий выбор дополнительных детекторов

## Рентгеновские дифрактометры



Порошковые и монокристалльные дифрактометры

Высокопроизводительные детекторы Mythen (Швейцария)

Вращение образца на 360°

Диапазон сканирования -110°/161°

Минимальный шаг сканирования

0,0001°

Автосменщик образцов 6/8шт

Нагрев от -196°С до 1600°С

Опции для измерения тонких пленок

База данных спектров, программа обработки спектров Jade, совместимость с ПО заказчика

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

### Председатель:

- *Шабанов Василий Филиппович* — д-р физ.-мат. наук, академик РАН, научный руководитель ФИЦ КНЦ СО РАН (г. Красноярск)

### Ученый секретарь:

- *Ципотан Алексей Сергеевич* — канд. физ.-мат. наук, доцент баз. кафедры фотоники и лазерных технологий, ИИФиРЭ СФУ (г. Красноярск)

### Состав комитета:

- *Архипкин Василий Григорьевич* — д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий лабораторией когерентной оптики, ИФ СО РАН (г. Красноярск)
- *Вайнштейн Илья Александрович* — д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой физических методов и приборов контроля качества, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург)
- *Ветров Степан Яковлевич* — д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры теоретической физики и волновых явлений, ИИФиРЭ СФУ (г. Красноярск)
- *Втюрин Александр Николаевич* — д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., заведующий баз. кафедрой фотоники и лазерных технологий, ИИФиРЭ СФУ (г. Красноярск)
- *Вьюнышев Андрей Михайлович* — канд. физ.-мат. наук, заместитель директора по научной работе, ИФ СО РАН (г. Красноярск)
- *Зырянов Виктор Яковлевич* — д-р физ.-мат. наук, проф., руководитель научного направления "Фотоника", заведующий лабораторией молекулярной спектроскопии, ИФ СО РАН (г. Красноярск)
- *Калитеевский Михаил Алексеевич* — д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории нанофотоники, АУ РАН (г. Санкт-Петербург)
- *Карпов Сергей Васильевич* — д-р физ.-мат. наук, проф., ведущий научный сотрудник лаборатории когерентной оптики, ИФ СО РАН (г. Красноярск)
- *Кратасюк Валентина Александровна* — д-р биол. наук, проф., заведующий кафедрой биофизики, ИФБиБТ СФУ (г. Красноярск)
- *Мартынович Евгений Федорович* — д-р физ.-мат. наук, проф., директор, Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН (г. Иркутск)
- *Милёхин Александр Германович* — д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией ближнепольной оптической спектроскопии и наносенсорике, зам. директора, Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН (г. Новосибирск)
- *Наумов Андрей Витальевич* — д-р физ.-мат. наук, член-корр. РАН, доц., заведующий кафедрой теоретической физики им. Э.В. Шпольского, руководитель лаборатории физики перспективных материалов и наноструктур, МПГУ (г. Троицк)
- *Непомнящих Александр Иосифович* — д-р геол.-минерал. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории физики монокристаллов, ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск)
- *Овчинников Олег Владимирович* — д-р физ.-мат. наук, проф., декан физического факультета, ВГУ (г. Воронеж)
- *Садреев Алмаз Фаттахович* — д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий лабораторией теории нелинейных процессов, ИФ СО РАН (г. Красноярск)
- *Светличный Валерий Анатольевич* — канд. физ.-мат. наук, доц., заведующий лабораторией новых материалов и перспективных технологий, ТГУ (г. Томск)
- *Слабко Виталий Васильевич* — д-р физ.-мат. наук, проф., профессор баз. кафедры фотоники и лазерных технологий, ИИФиРЭ СФУ (г. Красноярск)

- *Слюсарева Евгения Алексеевна* — д-р физ.-мат. наук, доц., профессор баз. кафедры фотоники и лазерных технологий, заместитель директора по научной работе ИИФиРЭ СФУ (г. Красноярск)
- *Тимофеев Иван Владимирович* — д-р физ.-мат. наук, доц., заведующий лабораторией фотоники молекулярных систем, ИФ СО РАН (г. Красноярск)
- *Чиркин Анатолий Степанович* — д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры общей физики и волновых процессов, МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва)
- *Шамирзаев Тимур Сезгирович* — д-р физ.-мат. наук, доц., ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-лучевой эпитаксии соединений АЗВ5, ФГБУН Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (г. Новосибирск)
- *Шандаров Станислав Михайлович* — д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник НОЦ "Нелинейная оптика, нанофотоника и лазерные технологии", ТУСУР (г. Томск)

# ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

## Председатель:

- *Минаков Андрей Викторович* — д-р физ.-мат. наук, директор института инженерной физики и радиоэлектроники СФУ

## Заместитель председателя:

- *Втюрин Александр Николаевич* — д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., зав. базовой кафедрой фотоники и лазерных технологий ИИФиРЭ СФУ, главный научный сотрудник ИФ СО РАН

## Ученый секретарь:

- *Ципотан Алексей Сергеевич* — канд. физ.-мат. наук, доцент базовой кафедры фотоники и лазерных технологий ИИФиРЭ СФУ

## Состав комитета:

- *Вьюнышев Андрей Михайлович* — канд. физ.-мат. наук, зам. директора по научной работе ИФ СО РАН, научный сотрудник базовой кафедры ФилТ СФУ
- *Слюсарева Евгения Алексеевна* — д-р физ.-мат. наук, доц., профессор базовой кафедры ФилТ СФУ, заместитель директора по научной работе ИИФиРЭ СФУ
- *Тимофеев Иван Владимирович* — д-р физ.-мат. наук, доц., зав. лабораторией фотоники молекулярных систем ИФ СО РАН, зав. лабораторий нанотехнологий, спектроскопии и квантовой химии базовой кафедры ФилТ СФУ
- *Рудакова Наталья Викторовна* — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории фотоники молекулярных систем ИФ СО РАН, доцент кафедры физики СФУ
- *Слюсаренко Нина Викторовна* — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник базовой кафедры фотоники и лазерных технологий ИИФиРЭ СФУ
- *Семина Полина Николаевна* — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник международного научно-исследовательского центра спектроскопии и квантовой химии СФУ
- *Панкин Павел Сергеевич* — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории фотоники молекулярных систем ИФ СО РАН, научный сотрудник лаборатории НСиКХ базовой кафедры ФилТ СФУ
- *Пятнов Максим Владимирович* — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории фотоники молекулярных систем ИФ СО РАН, научный сотрудник лаборатории НСиКХ базовой кафедры ФилТ СФУ
- *Герасимова Марина Анатольевна* — старший преподаватель кафедры общей физики СФУ
- *Шапошников Артём Анатольевич* — учитель физики физико-математической школы СФУ



С И Б И Р С К И Й  
Ф Е Д Е Р А Л Ь Н Ы Й  
У Н И В Е Р С И Т Е Т

S I B E R I A N  
F E D E R A L  
U N I V E R S I T Y



**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Л.В. КИРЕНСКОГО**

Сибирского отделения Российской академии наук

ФИЦ КНЦ СО РАН

Партнеры конференции



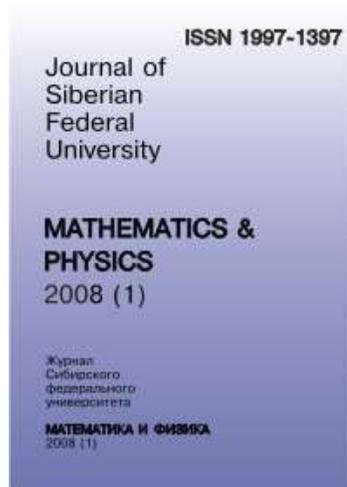
ООО ЭМТИОН



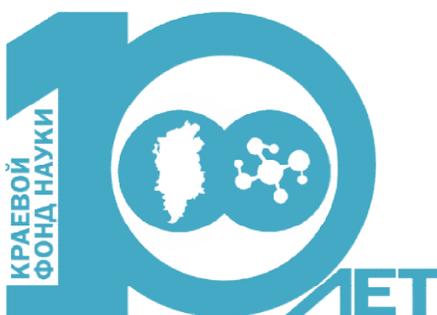
Журнал «ФОТОНИКА»  
(PHOTONICS RUSSIA)



Журнал «Известия Российской  
академии наук.  
Серия физическая»



Журнал СФУ.  
Математика и физика



Красноярский краевой фонд поддержки научной  
и научно-технической деятельности

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>секция 3</b>	ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ, МЕТАМАТЕРИАЛЫ И ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ	9
<b>секция 4</b>	БИОФОТОНИКА	98

## **Секция 3**

# **ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ, МЕТАМАТЕРИАЛЫ и ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ**

# ЭФФЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ И ОБРАЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР В ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОННЫХ КОНДЕНСАТАХ БОЗЕ – ЭЙНШТЕЙНА

А. Д. Аллилуев<sup>1</sup>, Д. В. Макаров<sup>1\*</sup>, Н. А. Асриян<sup>2</sup>, А. А. Елистратов<sup>2</sup>, Ю.Е. Лозовик<sup>3,4,5</sup>

<sup>1</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН  
690041, Российская Федерация, Владивосток, ул. Балтийская, д. 43*

\*E-mail: makarov@poi.dvo.ru

<sup>2</sup>*Всероссийский НИИ автоматики имени Н.Л. Духова  
127030, Российская Федерация, Москва, ул. Суцневская, д.22*

<sup>3</sup>*Институт спектроскопии РАН  
142190, Российская Федерация, Троицк, ул. Физическая, д.5*

<sup>4</sup>*Национальный университет «Высшая школа экономики»,  
Институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова,  
123458, Российская Федерация, Москва, ул. Таллинская, д.34*

<sup>5</sup>*Сколковский институт науки и технологий  
121205, Российская Федерация, Москва, Большой бульвар, д.30, стр. 1*

Рассматривается динамика экситон-поляритонного конденсата Бозе-Эйнштейна. Разработана модель, описывающая динамику конденсата, взаимодействующего с резервуаром надконденсатных экситонов. В основе модели лежит немарковское стохастическое уравнение Гросса-Питаевского, представляющее собой интегро-дифференциальное уравнение в частных производных, правая часть которого включает в себя шумы, соответствующие экситонным и фотонным флуктуациям. Разработанная модель используется для описания процесса образования конденсата. Показано, что увеличение температуры приводит к переходу из пространственно-однородного в фрагментированное состояние конденсата, которому сопутствует образование множественных квантовых вихрей. Показано, что точка перехода соответствует снижению плотности образующегося конденсата.

Экситон-поляритон представляет собой бозонную квазичастицу, соответствующую связанному состоянию экситона и фотона в микрорезонаторе. Сильное взаимодействие экситонов между собой, а также исключительная малая эффективная масса делают экситон-поляритоны кандидатами на создание высокотемпературного конденсата Бозе-Эйнштейна. Исследование особенностей эволюции конденсата поляритонов также актуально в связи с возросшим интересом к их использованию в квантовых технологиях. Гибкость в управлении свойствами поляритонных ансамблей посредством изменения профиля накачки, геометрии микрорезонатора делает их привлекательными для симуляции многочастичных квантовых систем и создания квантовых логических элементов. В этих приложениях особенно важны понимание динамических особенностей эволюции, оценки характерных времён процессов.

Вместе с тем, экситон-поляритоны подвержены сильным процессам распада, главным образом, за счет поглощения фотонов в микрорезонаторе. Относительно долгоживущий конденсат (здесь речь идет о сотнях пикосекунд!) удастся создать только при наличии лазерной подкачки резервуара надконденсатных экситонов. Таким образом, экситон-поляритонный конденсат является существенно открытой и неравновесной квантовой системой. Сравнительно высоких времен жизни конденсата удастся добиться только при низких температурах, порядка десятков кельвинов. Это подразумевает, что резервуар характеризуется узким энергетическим спектром, а его связь с конденсатом проявляет сильные немарковские свойства.

Немарковость означает зависимость поведения динамической системы от ее предыстории, что, с одной стороны, осложняет анализ ее поведения, а с другой – существенно обогащает спектр наблюдаемых свойств. По нашим оценкам, существенные отклонения от марковского режима возникают при температурах экситонного резервуара ниже 30 К. Это вполне соответствует условиям современных экспериментов.

В настоящем докладе мы сосредоточили внимание на процессе зарождения конденсата, изучить особенности динамики, связанные с эффектами памяти, а также рас-

смотреть формирование различных пространственных структур. Будут рассматриваться как структуры, создаваемые искусственно за счет специфической конфигурации поля лазерной накачки, так и спонтанные пространственные образования (вихри, солитоны и т. д.). В качестве специфических конфигураций будут выступать наборы отдельных узких сгустков конденсата, а также кольцевые конденсаты. В качестве основного инструмента будет использовано ранее разработанное исполнителями проекта немарковское стохастическое уравнение Гросса – Питаевского.

Показано, что с ростом температуры конденсат переходит из пространственно-однородного в фрагментированное состояние с обилием вихрей. Вид пространственной структуры оказывает существенное влияние на эффективность подкачки конденсата за счет релаксации экситонов резервуара. Показано, что температура перехода из однородного в фрагментированное состояние соответствует окрестности минимума температурной зависимости плотности конденсата.