



# ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ИМЕНИ Б.И. СТЕПАНОВА



**МИНСК 2022**  
КАТАЛОГ РАЗРАБОТОК И УСЛУГ

# Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларусь»

Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларусь ведет свое начало от сектора физики и математики, организованного в 1953 году в Физико-техническом институте АН БССР академиками А.Н. Севченко и Б.И. Степановым, приглашенными из Ленинграда на постоянную работу в Минск, и заведующим кафедрой теоретической физики Белгосуниверситета Ф.И. Федоровым. На базе этого сектора, насчитывавшего в то время 10 сотрудников и 3 аспиранта, 17 января 1955 г. был создан Институт физики и математики АН БССР — первый в Беларуси самостоятельный научно-исследовательский центр физико-математического профиля. Первым директором Института физики и математики с 1955 по 1957 год был Антон Никифорович Севченко, перешедший в 1957 году на должность ректора Белорусского государственного университета. В июне 1959 года математическая часть института, ставшая к тому времени довольно многочисленной, была преобразована в Институт математики и вычислительной техники АН БССР, а физическая часть, насчитывающая около 90 человек, названа Институтом физики. С января 1988 года Институт носит название Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларусь. Присвоением Институту физики, состоявшимся по ходатайству коллектива института, имени его директора с 1957 по 1985 год увековечена память об исключительно большом вкладе Бориса Ивановича Степанова в его создание, становление и развитие.



**Степанов Борис Иванович** (1913-1987 гг.) — основатель Института физики, директор с 1957 по 1985 гг.

Выдающийся ученый в области общей спектроскопии, молекулярного спектрального анализа, люминесценции, лазерной физики, нелинейной оптики. Герой социалистического труда, Заслуженный деятель науки БССР, лауреат Государственных премий СССР и БССР, академик, доктор физико-математических наук, профессор.

Наряду с А.Н. Севченко, Б.И. Степановым и Ф.И. Федоровым исключительно важную роль в организации и развитии Института физики сыграли также Н.А. Борисевич — заместитель директора по научной работе со дня образования Института и до 1969 года, когда он стал президентом АН БССР, и М.А. Ельяшевич, избранный академиком АН БССР и переехавший из Ленинграда в Минск в 1956 году.

Еще до образования Института его организаторы развернули большую работу по подбору и подготовке научных кадров, формированию тематики исследований. В результате этого с самого начала Институт рос очень быстро, и уже в пятидесятые годы был развернут широкий фронт исследований по спектроскопии и люминесценции сложных молекул в растворах и парах, оптике анизотропных и рассеивающих сред, спектроскопии и диагностике низкотемпературной плазмы, теории элементарных частиц.

С 1961 года важнейшими направлениями научных исследований стали лазерная физика, нелинейная оптика и лазерная спектроскопия.

Первый лазер, как известно, был создан в 1960 году в США. Б.И. Степанов и ряд ведущих сотрудников Института физики сразу поняли, что открытие лазеров знаменует собой принципиально новый этап в развитии оптики и

ее применений, быстро и энергично включились в разработку этого направления сами, увлекли за собой своих коллег и учеников. При этом оказалось, что многие ранее развитые в Институте подходы и методы могут быть перенесены в новую область, что многие сотрудники хорошо подготовлены к восприятию новых идей и эффективной работе в этой области. В Институте установилась исключительно творческая атмосфера, исследования и разработки Института находились на переднем фронте развития лазерной физики и нелинейной оптики, часто определяли этот фронт. Интенсивно проводились теоретические, а с 1963 г., когда В.А. Пилиповичем в Институте был запущен первый лазер, и экспериментальные исследования.

По уровню и объему научных исследований и разработок, качеству получаемых результатов, широте тематики Институт физики уже в шестидесятые годы стал одним из ведущих научных центров Советского Союза в области лазерной физики, физической оптики, оптической спектроскопии и физики плазмы. Учитывая это, Президиум АН СССР в 1964 году поручил Институту издание всесоюзного "Журнала прикладной спектроскопии". В 1965 году Институт успешно организовал на берегу озера Нарочь первый в СССР открытый симпозиум по нелинейной оптике и лазерной физике (ICONO), что послужило началом систематически проводимых затем в СССР и после его распада международных конференций по лазерной физике, когерентной и нелинейной оптике. Ранее, до нарочанского симпозиума, обсуждение проблем лазерной физики проводилось в СССР только на закрытых совещаниях и встречах их разработчиков.

В 1967 г. Институт физики первым из учреждений Академии наук БССР награжден Орденом Трудового Красного Знамени за большие успехи в развитии физики и подготовку высококвалифицированных кадров.

Быстрому становлению Института физики как крупного научного центра, его успехам и достижениям прежде всего способствовало то, что ему за короткое время удалось активно включиться в разработку актуальных проблем физики того времени, обеспечить себя творчески одаренными и трудолюбивыми кадрами, создать мощное специализированное конструкторское и технологическое бюро с опытным производством (СКТБ с ОП), способное на высоком уровне выполнять опытно-конструкторские разработки и изготавливать сложные установки и приборы. Благодаря этому лаборатории Института имели хорошие возможности создавать и своевременно модернизировать свою материально-техническую базу, доводить разработки приборов до экспериментального образца.

Случилось так, что образование и становление Института физики по времени совпало с бурными, революционными преобразованиями в оптике и спектроскопии. Необходимость решения проблем работы ракетных двигателей и обтекания ракет при их движении в атмосфере, развитие тонких и точных технологий и производств породили высокий спрос на спектральные и оптические исследования и разработки. Открытие лазеров привело к коренной ломке многих давно устоявшихся и казавшихся незыблемыми понятий и представлений в оптике. Возникла возможность использовать свет не только для решения задач светотехники и изучения структуры и свойств вещества, но и как мощное средство воздействия на различные объекты, для обработки и передачи информации. В оптике и на стыке ее с другими областями знаний образовалось много новых направлений и разделов науки.

Бурный рост коллектива Института продолжался около 20 лет. Во второй половине семидесятых годов он замедлился и установился на уровне несколько выше 1300 человек, включая около 500 человек в СКТБ с ОП и 150 человек в Могилевском отделении, образованном в 1970 году. Стабилизировались объемы исследований и разработок Института, хотя спрос на них, как и ранее, оставался очень высоким.

Тематика исследований по-прежнему соответствовала мировым тенденциям развития разрабатываемых научных направлений и потребностям практики; происходило дальнейшее укрепление и расширение многочисленных творческих связей с академическими учреждениями и ВУЗами, НИИ и КБ оборонных отраслей страны. Институт активно участвовал в выполнении крупных государственных программ и заданий, часто в качестве головной организации. Успешно развивалось сотрудничество с НИИ космических исследований по решению проблем космического спектрометрирования ландшафтных и других объектов на поверхности Земли, приборы выводились в космос и надежно работали на борту космических станций. По заданию Гидромета СССР наш Институт участвовал в создании системы лазерных лидарных станций для стрatosферных исследований. Крепли связи с БелОМО.

В 1979 г. при Институте был создан Межведомственный конструкторский отдел двойного подчинения (АН БССР и Министерства обороны промышленности СССР), деятельность которого способствовала использованию научных результатов Института для решения задач, стоявших перед оборонной промышленностью оптической направленности.



Институт физики и математики (до разделения, 1959 г.)

В 1984 году свою работу начало Минское опытно-промышленное предприятие уникального приборостроения АН СССР, одной из задач которого было тиражирование разработок белорусских ученых. На этом предприятии был организован серийный выпуск приборов и элементов лазерно-оптической техники, разработанных в СКТБ с ОП нашего Института. Уместно отметить, что строительство и запуск этого предприятия проходили под патронажем Президента АН БССР Н.А. Борисевича и Института физики. Много сил и энергии организации работы этого предприятия отдал В.С. Бураков, сначала как заместитель директора Института физики и затем

как первый директор этого предприятия. Результаты научной и прикладной деятельности Института физики в советский период отмечены 2 Ленинскими премиями, 8 Государственными премиями СССР, 8 Государственными премиями БССР, 10 премиями ВЛКСМ и ЛКСМБ, многими орденами и медалями. Организаторы Института и создатели крупных широко известных научных школ А.Н. Севченко, Б.И. Степанов, Ф.И. Федоров и Н.А. Борисевич удостоены звания Героя социалистического труда.

**Наиболее существенные результаты этого периода можно кратко сформулировать следующим образом:**

- Создана теория люминесценции и поглощения света сложными молекулами и полупроводниками, решен ряд принципиальных вопросов общей спектроскопии. Установлены закономерности проявления фона теплового излучения в спектрально-оптических экспериментах и соотношение между спектрами поглощения и люминесценции, получившее затем название «универсальное соотношение Степанова». За работы этого направления в 1967 г. Б.И. Степанов награжден Золотой медалью имени С.И. Вавилова «За выдающиеся достижения в физике», присуждаемой Президиумом АН СССР.
- Создана ковариантная теория электромагнитных и акустических волн в анизотропных средах и на их границе, открыто явление бокового смещения светового луча при полном внутреннем отражении («сдвиг Федорова»), выполнен расчет большого числа кристаллооптических элементов лазерной техники.
- Развита спектроскопия свободных сложных молекул. Детально изучены процессы термолизации колебательного движения возбужденных молекул в парах и явление стабилизации-лабилизации электронно-возбужденных многоатомных молекул, зарегистрированное Н.А. Борисевичем и Б.С. Непорентом (ГОИ, Ленинград) как открытие; получена лазерная генерация на парах сложных молекул.
- Детально изучены спектрально-люминесцентные свойства молекул хлорофилла, порфиринов и родственных соединений, установлена роль синглетного кислорода в процессах фотоокисления и фотодеструкции, обнаружено и изучено явление фотовыжигания провалов в спектрах металлопорфиринов.
- Разработаны методы и созданы комплексы аппаратуры для исследования плазмы в лабораторных и натурных условиях, включая плазму обтекания ракет при их движении в атмосфере и авиакосмическое спектрометрирование природных объектов.
- Предсказана и получена лазерная генерация на растворах красителей, разработаны и созданы источники высококогерентного излучения с плавно перестраиваемой частотой, включая лазеры с распределенной обратной связью, определен набор красителей, обеспечивающий получение лазерного излучения во всем видимом диапазоне.
- Развиты методы расчета и проведен систематический анализ зависимости энергетических и временных характеристик лазеров от параметров резонатора, активной среды и накачки.
- Детально изучены особенности работы полупроводниковых лазеров и лазеров на квантоворазмерных структурах; созданы новые типы полупроводниковых лазеров с диодной, ламповой и электрической накачкой.
- Теоретически и экспериментально изучены закономерности возникновения и развития вынужденного комбинационного рассеяния, генерации гармоник, сложения и вычитания частот, самофокусировки и дефокусировки лазерных пучков. На этой основе разработаны и созданы нелинейно-оптические преобразователи частоты, позволяющие получать лазерное излучение в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра.
- Развиты физические основы динамической голограммии, предложены новые методы преобразования простран-

ственной структуры световых пучков, открыто явление обращения волнового фронта световых пучков при четырехволновых взаимодействиях.

- Теоретически и экспериментально изучены закономерности рассеяния света в гидросфере, атмосфере, различных естественных и искусственных средах. На этой основе созданы эффективные методы и аппаратура определения характеристик атмосферы, водных бассейнов и других объектов, включая многоволновое лазерное зондирование. Решен ряд проблем видения, локации и связи через рассеивающие среды.
- На основе глубокого изучения рассеяния излучения в порошкообразных средах разработаны и созданы дисперсионные фильтры для инфракрасного излучения.
- Изучены закономерности распространения гауссовых пучков в анизотропных и многослойных средах, включая оптические волноводы с анизотропным заполнением. Разработаны технологии получения элементов планарной интегральной оптики.
- Реализовано широкомасштабное внедрение методов атомного и молекулярного спектрального анализа на предприятиях республики. Разработаны новые методы определения свойств углеводов и белков, полимерных материалов, льноволокна и т. п.
- Детально проанализировано действие мощного лазерного излучения на спектрально-оптические характеристики резонансных сред и процессы релаксации.
- Предсказаны явление расщепления линий спонтанного испускания и поглощения на трикомпоненты под действием мощного резонансного излучения и явление группировки и антигруппировки фотонов резонансной флуоресценции.
- Развиты новые методы лазерной спектроскопии, и разработаны уникальные спектрометры внутристационарного поглощения, когерентного четырехволнового смешения и высокого временного разрешения.
- Установлены закономерности лазерной генерации поляризованного излучения, и развиты методы поляризационной лазерной спектроскопии.
- Изучена физика плазмодинамических процессов, возникающих при воздействии лазерного излучения на поверхность твердых тел, установлен ряд закономерностей лазерно-плазменного воздействия на композиционные материалы.
- Разработаны методы и созданы аппараты лазерной терапии широкого круга заболеваний различного генеза, в том числе желтухи новорожденных, глазных болезней, онкологических заболеваний. Разработанные и изготовленные в институте медицинские приборы успешно используются в клиниках республики и за ее пределами.
- Внесен большой вклад в изучение закономерностей работы и создание образцов лазерного гироскопа на основе кольцевого лазера с анизотропным резонатором и активной средой в магнитном поле.

Институт физики всегда имел и имеет ярко выраженный спектрально-оптический профиль, включая лазерную физику и физику плазмы. Вместе с тем в Институте всегда интенсивно проводились исследования в области физики элементарных частиц и ядерной спектроскопии. Это прежде всего работы быстро ставшей многочисленной научной школы Ф.И. Федорова, Ф.И. Федоровым, А.А. Богушем, Л.М. Томильчиком, Л.Г. Морозом и их учениками весьма успешно развивались инвариантные методы, позволяющие эффективно рассчитывать состояние и взаимодействие полей и элементарных частиц, выполнены расчеты многих процессов и реакций в

области физики высоких энергий. В лаборатории ядерной спектроскопии под руководством Э.А. Рудака были созданы 32-кристальный спектрометр гамма-гамма совпадений и 6-кристальный гаммаспектрометр "Припять". Эти приборы позволяли с высокой чувствительностью измерять уровень и состав радионуклидного загрязнения различных объектов. Восемь приборов "Припять" поставлены организациям, занимающимся проблемами последствий Чернобыльской аварии.

В 1989 году для Института физики наступили трудные времена. Именно в этом году началось резкое сокращение финансирования работ, выполнявшихся по постановлениям директивных органов; в 1992 году оно прекратилось полностью. Наряду с общими для всех научных учреждений трудностями, возникшими в связи с распадом СССР и переходом к работе в существенно изменившихся условиях, для Института возникли большие дополнительные проблемы, так как работы по таким постановлениям в то время составляли около 70% всех работ Института, а все хоздоговорные – более 80%. Резкий обрыв хоздоговорного финансирования в 1989 году поставил Институт в очень трудное положение.



Вход в Институт физики со стороны ул. Сурганова

Особенно трудным оно было в 1989 – 1991 годах. В это время произошло значительное (более чем на 30%) сокращение численности сотрудников Института и практически полностью была потеряна возможность модернизировать материально-техническую базу и делать заказы в СКТБ с ОП. Это подразделение Института пришлось преобразовать в самостоятельную организацию ОКБ «Аксикон» с правом выполнять заказы сторонних организаций.

Произошли и другие структурные изменения. В 1991 году лаборатория оптических проблем информатики, руководимая А.М. Гончаренко, стала самостоятельным отделом при Президиуме НАН Беларуси, а в 1992 г. Могилевское отделение было преобразовано в Институт прикладной оптики НАН Беларуси и на базе десяти лабораторий спектрально-люминесцентного и плазменного профиля образован Институт молекулярной и атомной физики (ИМАФ) НАН Беларуси. Тем не менее оставшаяся часть по-прежнему представляла собой сравнительно крупный коллектив, состоящий из 19 лабораторий, в которых работало в то время более 240 сотрудников, в том числе 37 докторов и около 150 кандидатов физико-математических наук.

Положение стало меняться в лучшую сторону после образования независимой Республики Беларусь.

Руководство нашей страны уделило значительное внимание научному сектору: были организованы государственные научно-исследовательские (ГПНИ) и научно-технические программы (ГНТП), еще до распада СССР был создан республиканский фонд фундаментальных исследований (БРФФИ). После распада СССР некоторое время действовали и различные международные фонды поддержки науки на постсоветском пространстве, особенно в организациях, активно взаимодействовавших до этого с военно-оборонным комплексом СССР. Институт физики и выделившиеся из него организации приняли самое активное участие в формировании и выполнении проектов в рамках этих программ, грантов республиканского и международных фондов. Наряду с этим существенно расширились контакты сотрудников с зарубежными учеными, их поездки на международные конференции (при финансовой поддержке оргкомитетами конференций), стало возможным выполнение экспериментальных исследований на оборудовании зарубежных организаций. Все это позволило сохранить ранее накопленный научный потенциал и сравнительно быстро приобрести опыт работы в новых условиях. Об этом, в частности, свидетельствует то, что и в это время деятельность Института физики и Института молекулярной и атомной физики отмечена 9 Государственными премиями Республики Беларусь, многими орденами и медалями РБ, Почетными грамотами Президента и Совета министров РБ.

В 2007 году решением Президиума НАН Беларуси к Институту физики присоединены Институт молекулярной и атомной физики, Институт электроники и ОКБ «Аксикон». В 2004 году Отдел оптических проблем информатики при Президиуме преобразован в лабораторию Института физики. Так что в настоящее время Институт физики имени Б.И. Степанова является крупнейшим институтом НАН Беларуси.

В его состав входят 14 научных центров и 1 научно-производственный центр, в которых работает 355 сотрудников, в том числе 36 докторов и 96 кандидата наук, 6 академиков и 6 членов-корреспондентов НАН Беларуси. 13 сотрудников имеют звание профессора и 19 звание доцента. В Институте действуют:

- Международная лаборатория оптической диагностики Фраунгофера-Степанова;
- Лаборатория нелинейной оптики имеет статус научного центра вторичной сети Центрально-европейской инициативы;
- Белорусско-вьетнамская лаборатория по лазерной физике, технике и технологиям;
- Международная организация ICRAvNet - Minsk.

Кроме того в Институте созданы и активно работают три отраслевые лаборатории: отраслевая лаборатория молекулярно-пучковой эпитаксии нитридных гетероструктур; отраслевая лаборатория оптоэлектронных и волоконно-оптических технологий для создания диагностических и измерительных систем (совместно с ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»), отраслевая лаборатория испытаний лазерной и оптоэлектронной техники.

## **Направлениями научных исследований и разработок Института физики в настоящее время являются:**

- Лазерная физика, разработка и создание лазерных систем и технологий их применения в медицине, экологии, метрологии, промышленности и т.п.
- Физическая и нелинейная оптика, раскрытие и использование закономерностей распространения мощного лазерного излучения в различных средах
- Оптическая спектроскопия, развитие и применение методов и приборов исследования свойств и структуры различных материалов, включая биологические ткани
- Нанооптика и наноматериалы, исследование и разработка проблем практического использованияnanoструктур
- Микро- и оптоэлектроника; исследование свойств и структуры микроэлементов электроники, разработка проблем их практического применения
- Квантовая оптика, изучение квантовых свойств электромагнитного излучения в информатике и криптографии
- Оптика рассеивающих сред, разработка методов и приборов исследования и диагностики атмосферы, других сред, включая биологические
- Физика плазмы, разработка и создание плазменных технологий и систем для обработки и модификации свойств материалов и их поверхностей
- Физика элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, ядерная спектроскопия.

В разработке научных и прикладных проблем этих и других направлений лаборатории Института в последнее время достигли значительных результатов. Некоторые из них приведены в данном буклете.

Почетный директор Института физики НАН Беларуси

директор Института физики с 1985 по 1998 г.

академик П.А. Апанасевич



# **Результаты деятельности Института физики, удостоенные государственных премий**

## **Ленинская премия:**

Решение проблем безопасного движения в атмосфере космических аппаратов (1966 г., М.А. Ельяшевич совместно с сотрудниками других организаций)

Создание и развитие нового научного направления - спектроскопии свободных сложных молекул (1980 г., Н.А. Борисевич, В.В. Грузинский и В.А. Толкачев совместно с Б.С. Непорентом из ГОИ)

## **Государственная премия СССР:**

Предсказание лазерной генерации растворов сложных молекул и создание лазеров с плавно перестраиваемой частотой излучения в широкой области спектра (1972 г., Б.И. Степанов, А.Н. Рубинов и В.А. Мостовников)

Изучение рассеяния излучения в неоднородных средах и создание на этой основе дифракционных фильтров для широкого диапазона инфракрасного излучения (1973 г., Н.А. Борисевич и В.Г. Верещагин)

Развитие оптики анизотропных сред (1976 г., Ф.И. Федоров)

Развитие физических основ динамической голографии и методов преобразования пространственной структуры световых пучков, открытие явления обращения волнового фронта световых пучков при четырехволновых взаимодействиях (1982 г., П.А. Апанасевич, Е.В. Ивакин, А.С. Рубанов, Б.И. Степанов совместно с сотрудниками других организаций)

Развитие высокоэффективных методов нелинейного преобразования частоты лазерного излучения в кристаллах (1984 г., Б.В. Бокуть совместно с сотрудниками других организаций)

Исследования фоторефрактивных и жидких кристаллов для систем оптической обработки информации (1985 г., В.А. Пилипович и А.А. Ковалев совместно с сотрудниками других организаций)

Исследования фотовыжигания спектральных провалов и развитие селективной спектроскопии сложных молекул (1986 г., К.Н. Соловьев совместно с сотрудниками других организаций)

Разработка оптических методов и систем измерения параметров наземных объектов с самолетов и космических аппаратов (1991 г., Л.И. Киселевский и Б.И. Беляев совместно с сотрудниками других организаций)

## **Государственная премия БССР:**

Развитие теории упругих волн в кристаллах (1972 г., Ф.И. Федоров)

Разработка методов и создание аппаратуры исследования плазмы в лабораторных и натурных условиях, включая плазму обтекания ракет при их движении в атмосфере (1974 г., В.С. Бураков, Л.И. Киселевский, Л.Я. Минько, В.Н. Снопко и В.Д. Шиманович)

Разработка методов расчета и систематический анализ зависимости энергетических и временных характеристик лазеров от параметров резонатора, активной среды и накачки (1976 г., Б.И. Степанов, В.П. Грибковский,

А.С. Рубанов и А.М. Самсон)

Развитие теории действия мощного лазерного излучения на спектрально-оптические характеристики вещества (1978 г., П.А. Ананасевич)

Цикл работ «Фотоника биологически важных пигментов и их аналогов» (1980 г., Г.П. Гуринович и К.Н. Соловьев)

Развитие классической полевой теории элементарных частиц (1988 г., А.А. Богуш и Л.Г. Мороз)

Экспериментальное и теоретическое исследование отражения света от усиливающих и нелинейных сред» (1990 г., Б.Б. Бойко и Н.С. Петров)

## Государственная премия Республики Беларусь:

Исследования физики процессов лазерно-плазменного воздействия на металлы и композиционные материалы (1992 г., М.А. Ельяшевич, В.К. Гончаров, Л.Я. Минько, Г.С. Романов и А.Н. Чумаков)

Развитие методов и исследование люминесценции белков с высоким временным разрешением (1992 г., Л.Г. Пикулик совместно с биологами)

Исследования флюктуации микроструктуры и развитие фотофизики растворов сложных органических соединений (1994 г., А.Н. Рубинов, Б.А. Бушук и В.И. Томин совместно с сотрудниками БГУ)

Исследования явлений анизотропии в лазерных системах и развитие методов поляризационной лазерной спектроскопии (1996 г., А.П. Войтович, А.А. Ковалев, В.В. Машко, В.Н. Севериков и В.А. Пилипович)

Исследования динамики вращательного движения электронно-возбужденных молекул в газовой фазе (1998 г., Н.А. Борисевич, В.А. Толкачев, А.П. Блохин и В.А. Поведайло)

Исследования нелинейно-оптических явлений и создание на этой основе нелинейно-оптических преобразователей длины волн лазерного излучения (2000 г., А.А. Афанасьев, В.Н. Белый, Н.С. Казак, В.А. Кононов, В.А. Орлович и Т.Ш. Эфендиев)

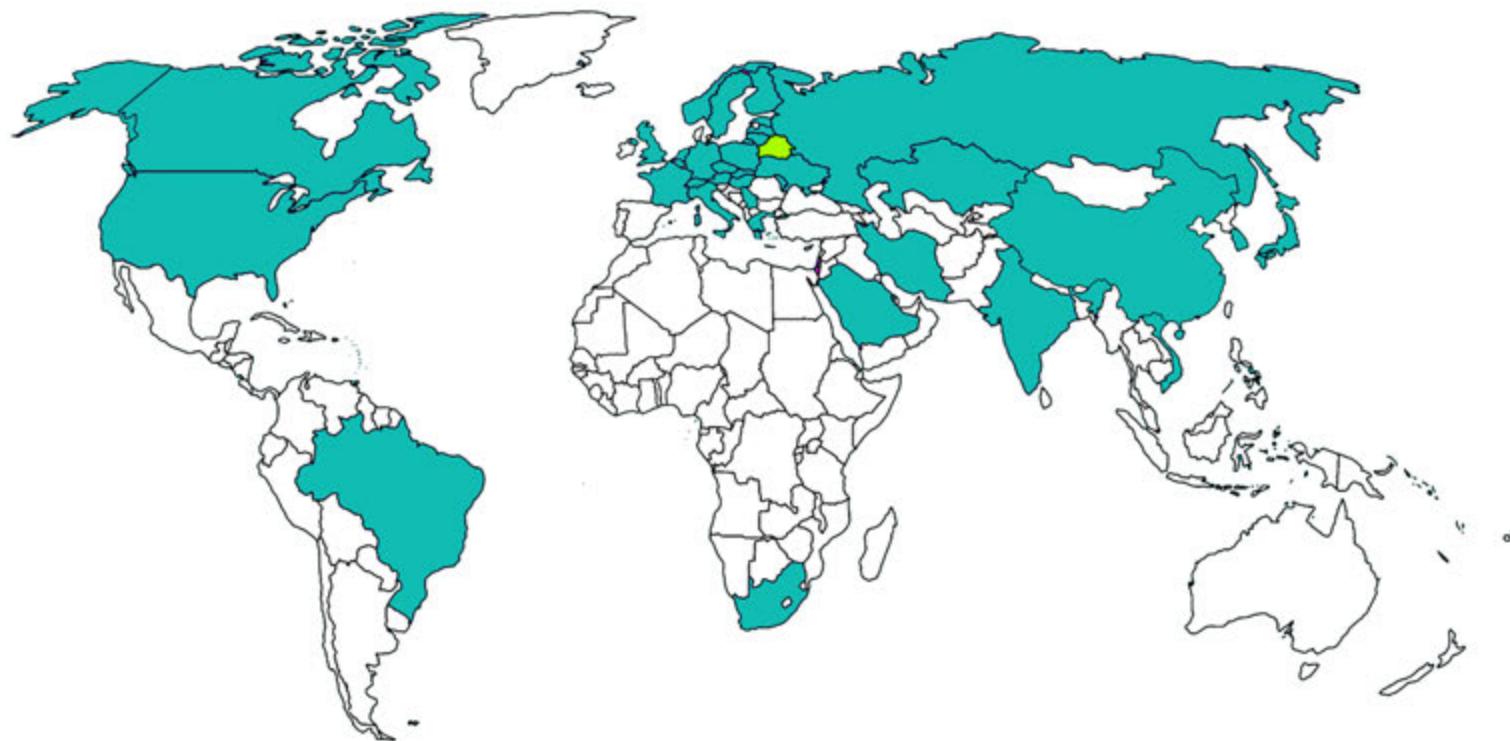
Исследования механизмов фотоповреждений сетчатки глаза и разработка средств их лечения (2000 г., Г.И. Желтов и В.А. Лапина совместно с медиками)

Развитие квантовой оптики и спектроскопии когерентных ядерных процессов (2002 г., С.Я. Килин, Э.А. Рудак и А.В. Берестов совместно с сотрудниками БГУ)

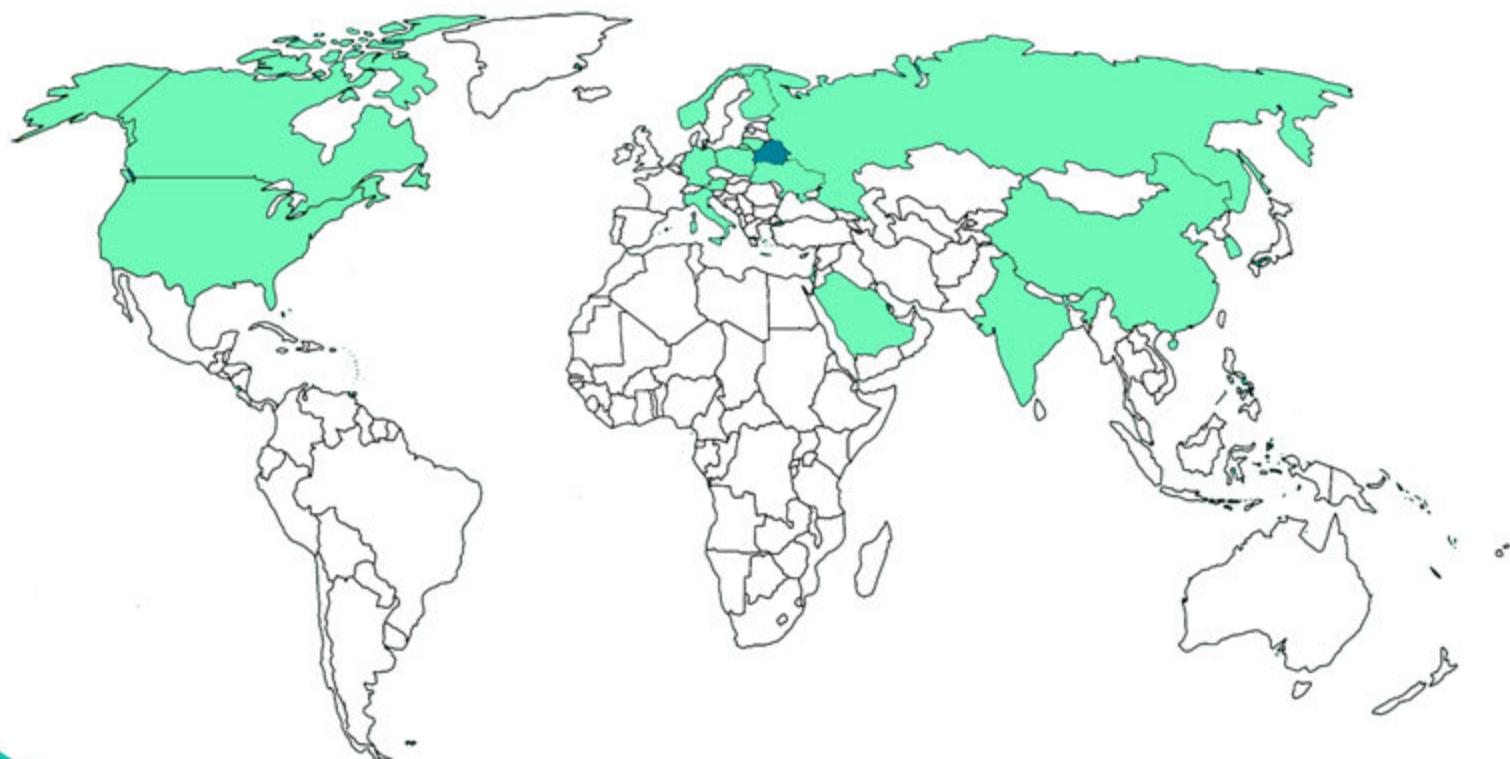
Разработка и применение лидарных и аэрокосмических методов и приборов диагностики окружающей среды (2002 г., А.П. Иванов, А.П. Чайковский и В.Е. Плюта совместно с сотрудниками других организаций)

Разработка и широкомасштабное внедрение национальных средств защиты документов, ценных бумаг и особо ценных объектов на основе голограммических методов (2012 г., Л.В. Танин совместно с сотрудниками других организаций)

## МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО



География экспорта



# СОДЕРЖАНИЕ

Центр «Фундаментальные взаимодействия и астрофизика» (ЦФВА)	14
Центр «Диагностические системы» (ЦДС)	18
Центр «Фотоника атомных и молекулярных структур» (ЦФАМС)	32
Центр «Квантовая оптика и квантовая информатика» (ЦКОКИ)	34
Центр «Нанофотоника» (ЦНФ)	40
Центр «Фотоника и фотохимия молекул» (ЦФФМ)	44
Центр «Полупроводниковые технологии и лазеры» (ЦПТЛ)	50
Центр «Физика плазмы» (ЦФП)	56
Центр «Лазерно-оптические технологии для медицины и биологии» (ЦЛОТМБ)	60
Центр «Нелинейная оптика и активированные материалы» (ЦНОАМ)	74
Центр «Лазерная техника и технологии» (ЦЛТТ)	82
Центр «Оптическое дистанционное зондирование» (ЦОДЗ)	88
Центр испытаний лазерной техники (ЦИЛТ)	92
Центр аналитических и спектральных измерений (ЦАСИ)	102
Научно-производственный центр оптико-электронного приборостроения (НПЦОЭП)	108



# ЦЕНТР «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И АСТРОФИЗИКА»

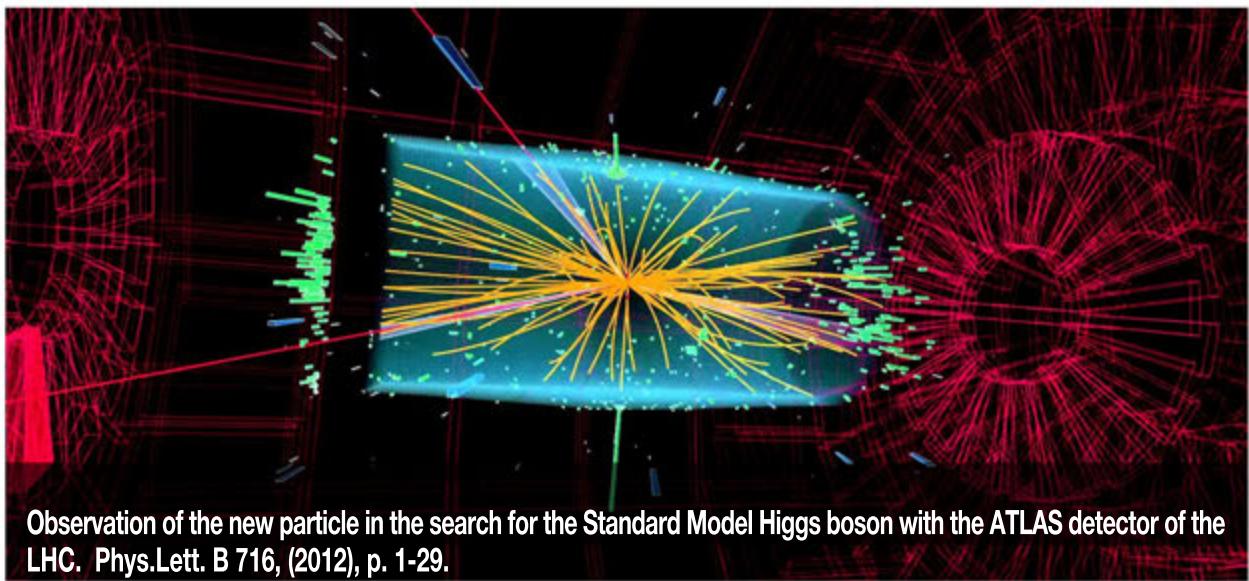
## **Основными направлениями исследований являются:**

- разработка эффективных методов теоретических исследований и их применение для решения актуальных проблем астрофизики и физики фундаментальных взаимодействий; научная экспертиза сложных проектов по поручению вышестоящих органов
- участие в постановке и обработке результатов экспериментов в рамках крупных международных колабораций и проектов по поиску новых структурных элементов и явлений космического масштаба, макро- и микромира: ATLAS (Большой адронный коллайдер (БАК), CERN, Швейцария), COMET (“J-PARC”, Япония), ICRANet (Италия); а также в сотрудничестве с астрофизическими центрами Национальных академий наук стран СНГ (Украины, Узбекистана, Таджикистана)
- проведение фундаментальных и прикладных ядерно-физических исследований



# Открытие бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере

Шесть сотрудников Института физики НАН Беларусь являются соавторами публикации об открытии бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере (БАК). Возглавлял команду ученых заведующий центром доктор физико-математических наук Юрий Андреевич Курочкин.



## Наблюдение новой частицы при поиске Бозона Хиггса Стандартной модели с помощью детектора ATLAS.

Представлен результат поиска Бозона Хиггса Стандартной модели в протон-протонных столкновениях с помощью детектора ATLAS на БАК. Используемые наборы данных соответствуют интегральной светимости приблизительно  $4,8 \text{ fb}^{-1}$ , при  $\sqrt{s} = 7 \text{ ТэВ}$  в 2011 г. и  $5,8 \text{ fb}^{-1}$  при  $\sqrt{s} = 8 \text{ ТэВ}$  в 2012 г. Индивидуальные поиски в каналах  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ ,  $H \rightarrow \gamma\gamma$  и  $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow e\nu\mu\nu$  при 8 ТэВ объединяются с ранее опубликованными результатами поиска  $H \rightarrow ZZ^{(*)}$ ,  $WW^{(*)}$ , и  $\tau^+ \tau^-$  при 7 ТэВ и с результатами усовершенствованного анализа каналов  $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$  и  $H \rightarrow \gamma\gamma$  при 7 ТэВ. Представлены четкие доказательства получения нейтрального бозона с измеренной массой  $126,0 \pm 0,4$  (стат)  $\pm 0,4$  (сис) ГэВ. Данное наблюдение, имеющее значение стандартных отклонений 5,9, что соответствует вероятности колебаний фона в  $1,7 \times 10^{-9}$ , совместимо с образованием и распадом Бозона Хиггса Стандартной модели.



## Международная коллаборация “СОМЕТ”

В настоящее время ученые из Института физики НАН Беларуси входят в Международную коллаборацию “СОМЕТ” (COherent Muon to Electron Transition) и являются участниками эксперимента на акселераторе “J-PARC” (Япония). Целью эксперимента является обнаружение реакций, вероятность протекания которых в рамках Стандартной Модели невозможна. Участие в такой Международной коллаборации является престижным для Института и страны в целом. Мы уверены, что фундаментальные исследования такого уровня приведут нас к развитию новых технологий в будущем.



Сверхпроводящие магниты канала транспортировки  
протонов к нейтринной мишени

Японский исследовательский комплекс протонных  
ускорителей (“J-PARC” Center)



Обсуждение научно-технического сотрудничества между Японией и Беларусью.

От Японии принимали участие:

директор “J-PARC” Наохито Сайто,

руководитель эксперимента “СОМЕТ” Сатоши Михара.

(28 мая 2019 года, Президиум НАН Беларуси, Минск)

# Гамма-спектрометр



**Погружной двухдетекторный гамма-спектрометр на основе сцинтилляционных кристаллов SrI<sub>2</sub>(Eu)**

## Назначение:

Гамма-спектрометр предназначен для регистрации и анализа спектров гамма-излучения в геометрии полного погружения в воду и позволяет оценивать активность изотопов в водной среде в Бк/л.

## Комплектность прибора:

- погружной детектор (2 шт.)
- блок управления с миникомпьютером
- глубоководный кабель
- программное обеспечение по накоплению и обработке спектров

Тип сцинтиллятора	SrI <sub>2</sub> (Eu)
Количество детекторов	2
Размер кристаллов	Ø 38 мм × 38 мм
Энергетическое разрешение по линии 662 кэВ	3,5 %
Энергетический диапазон измерения спектров	от 40 до 3000 кэВ
Размер измеряемого спектра	4096 каналов
Предел детектирования для <sup>137</sup> Cs за 24 ч	≤ 0,04 Бк/л
Число каналов в спектре (выбирается пользователем)	256, 512, 1024, 2048, 4096
Рабочая температура	от - 10°C до + 50°C
Максимальная рабочая глубина	400 м
Напряжение питания	от 9 до 18 В (DC)
Потребляемая мощность	≤ 2 Вт
Интерфейс связи	RS-485
Масса	8 кг
Стабильность: сдвиг спектрального пика <sup>137</sup> Cs за 24 ч	≤ ± 1,0 %
Периодичность калибровки системы	≥ 1 года
Идентификация и количественное определение γ-излучающих радионуклидов, содержащихся в морской воде (в Бк/л)	<sup>131</sup> I, <sup>134</sup> Cs, <sup>137</sup> Cs, <sup>60</sup> Co, <sup>40</sup> K и др.
Измеряемая максимальная активность для <sup>137</sup> Cs	> 50 кБк
Погрешность измерения, не более	от ± 8,0 до ± 10,0 %
Максимальная глубина погружения герметичных корпусов	40 м
Максимальное время работы от аккумулятора в автономном режиме	10 дней

## Перспективы:

Возможно выполнение работ по дальнейшему совершенствованию в плане повышения чувствительности и энергетического разрешения.

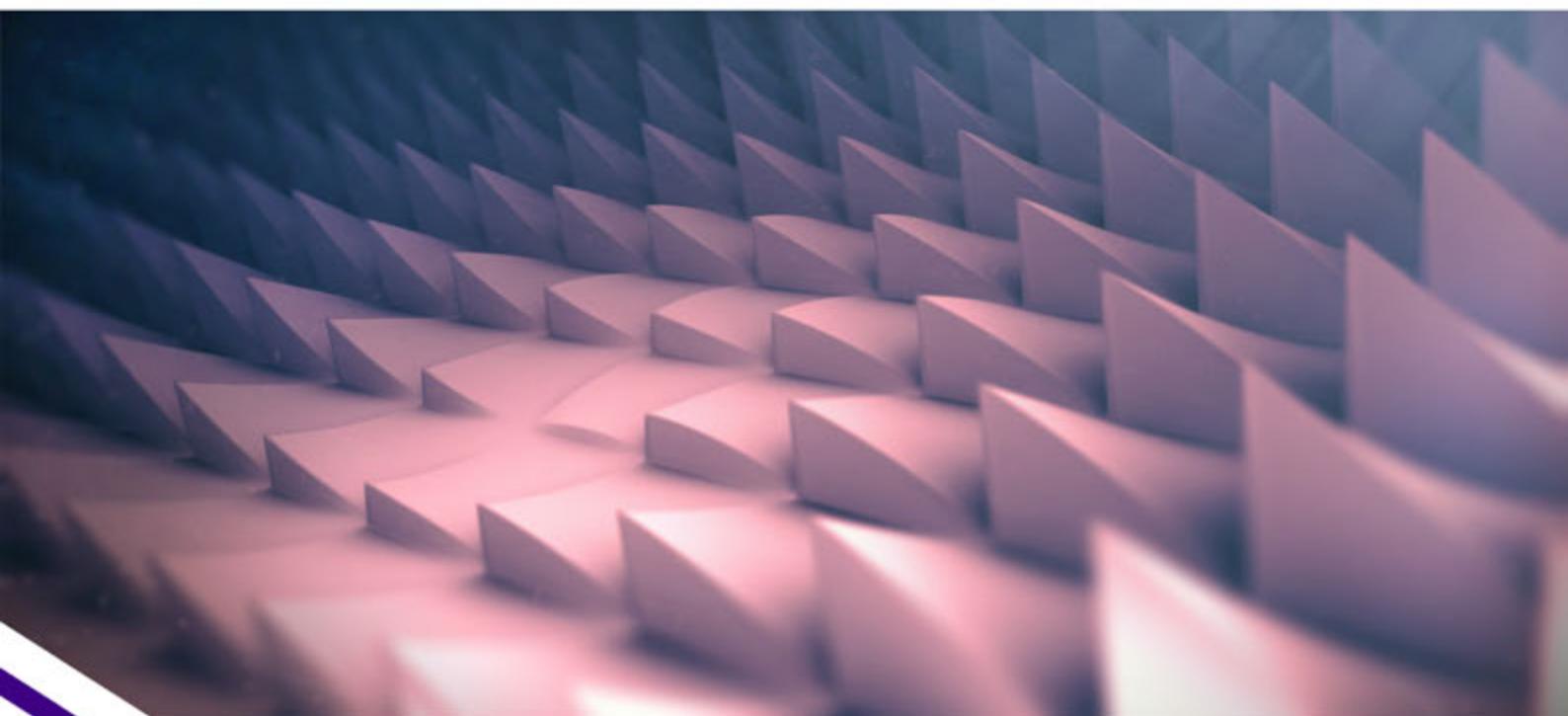
## ЦЕНТР «ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

Центр осуществляет разработку современных оптических методов и технологий для неразрушающего контроля и диагностики в промышленности и медицине, базирующихся на многоканальной лазерной опто-акустической дефектоскопии, многопараметрических методах анализа спектральной информации, фотоакустической спектроскопии, лазерной спекл-интерферометрии, микроскопии и профилометрии, основанной на использовании конических пучков; элипсометрии высокого пространственного разрешения; поляризационно-чувствительной скатерометрии, построении изображений во временах затухания флуоресценции (FLIM). В центре проводятся исследования по приоритетным направлениям в области разработки систем безопасности на основе контроля терагерцовых изображений и тера-герцовых спектров.

В области лазерной нанобиологии и наномедицины с применением плазмонного резонанса разрабатываются био-наносенсоры для ранней диагностики различных заболеваний. На основе конфокальной сканирующей лазерной микроскопии и фемтосекундной спектроскопии разрабатываются новые оптические методы диагностики и лечения онкологических заболеваний. Созданы уникальные лазерные зонды и бесселевые лазерные пинцеты для манипуляции микро- и наночастицами.

Основные работы посвящены формированию, изучению свойств и перспективам применения новых типов металло-диэлектрическихnanoструктур, обладающих свойствами оптических метаматериалов. На основе гиперболических метаматериалов предложены и реализованы новые конфигурации плоских линз (так называемые суперлинзы) ближнего и дальнего поля.

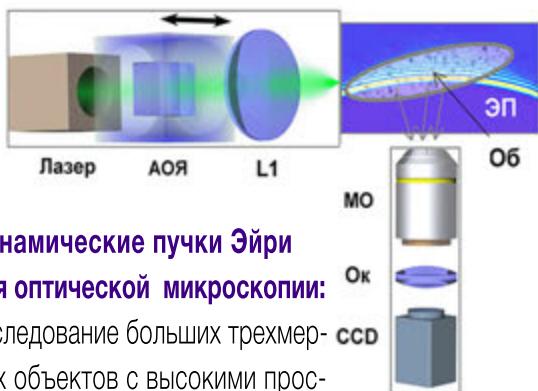
В центре исследуются свойства лазерных пучков со сложной пространственной структурой (гауссовых, бесселевых, конических, лагерр- и бессель-гауссовых, вихревых и сингулярных, квазибездифракционных спекл-полей, пучков Эйри и др.) при их распространении и преобразовании в анизотропных, неоднородных и рассеивающих средах, методы и устройства практического применения этих результатов в машиностроении, микро- и оптоэлектронике.



# Динамические пучки Эйри с высокоскоростной перестройкой криволинейной траектории распространения

## Применение:

- оптическая томография и микроскопия для зондирования технических и биологических объектов
- биомедицинская диагностика в режиме реального времени на основе микроскопии «светового листа» (СЛ-микроскопия). Акусто-оптическая (АО) перестраиваемая СЛ-микроскопия перспективна в биологии развития, например, для изучения процессов деления клеток, а также для исследований процессов в нервной системе и в мозге
- создание динамических оптических пинцетов, предназначенных для перемещения микрочастиц по криволинейным траекториям
- лазерная обработка материалов с криволинейными особенностями формы
- микроэлектроника для формирования непрямолинейных микроструктур, например, в кремнии с помощью фемтосекундных лазерных пучков-импульсов Эйри



## Динамические пучки Эйри для оптической микроскопии:

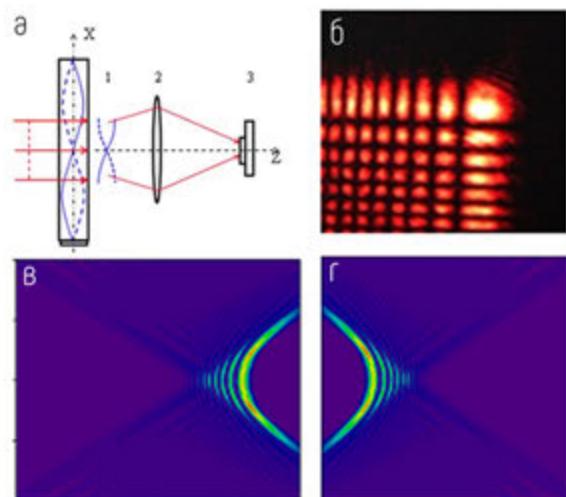
исследование больших трехмерных объектов с высокими пространственным разрешением и скоростью сканирования; АОЯ – акустооптическая ячейка; L1 – линза Фурье-преобразования; Об – исследуемый объект; МО, Ок – объектив и окуляр микроскопа; CCD – фотоприемная матрица.

## Особенности:

- лазерные пучки Эйри характеризуются движением энергии по криволинейной траектории, обладают свойством квазибездифракционности и самореконструкции профиля в рассеивающих и неоднородных средах
- биомедицинская диагностика с использованием динамических пучков Эйри позволяет сочетать высокое пространственное и временное разрешение с увеличенной глубиной зондирования, что важно в современных исследованиях в области нейро-биологии, а также для распознавания различных болезней на ранней стадии
- акустооптический метод генерации динамических пучков Эйри

## Технические характеристики:

- высокоскоростная перестройка траектории движения с частотой равной частоте звукового поля (от сотен тысяч до миллиона Гц)
- возможность управления поперечным пространственным профилем динамического пучка Эйри, его радиусом и знаком кривизны
- высокоскоростная кубическая модуляция фазы светового пучка
- сочетание высокого пространственного и временного разрешения с увеличенной глубиной зондирования



Схема, иллюстрирующая акустооптический метод генерации динамических пучков Эйри (ЭП) (а):

- 1 – акусто-оптическая ячейка
- 2 – линза Фурье-преобразования
- 3 – CCD- матрица
- б – двухмерный ЭП; в, г – пространственные структуры генерируемых ЭП с положительной (в) и отрицательной (г) кривизной.

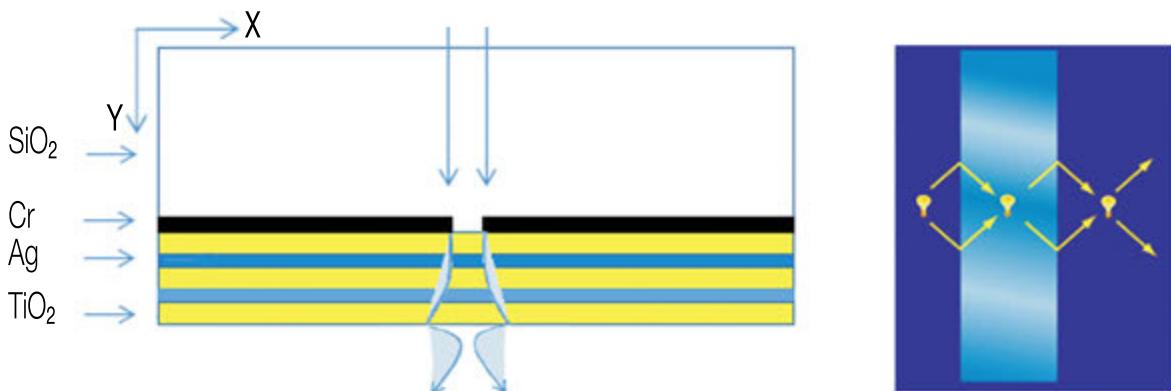
# Оптические метаматериалы

## Назначение:

- создание оптоэлектронных систем с наноразмерными элементами
- разработка технологий наноэлектроники
- туннелирование электромагнитной энергии через сверхузкий канал
- создание оптических систем на новых принципах, позволяющих достичь субвольнового разрешения
- разработка новых сенсоров со значительно более высокой чувствительностью за счет плазмонного резонанса
- усиление оптических нелинейностей
- формирование узконаправленных световых пучков

Плосковолновая суперлинза

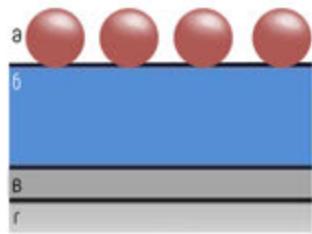
на основе гиперболического метаматериала многослойной металлоиэлектрической структуры



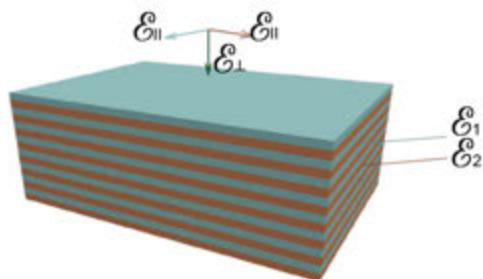
## Наиболее перспективные направления для создания оптических метаматериалов

Самоорганизованные структуры металлических наночастиц

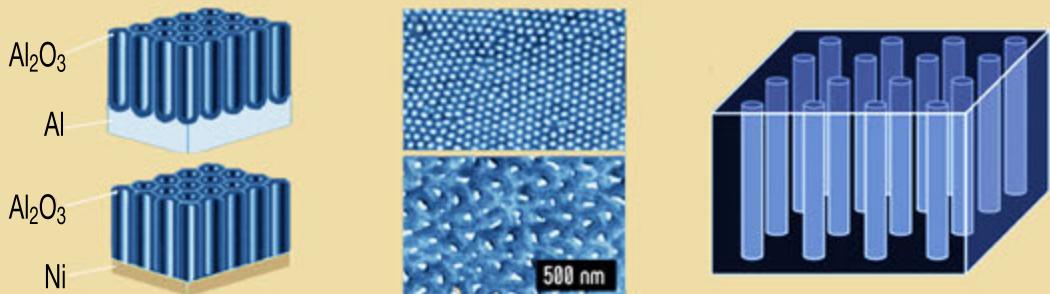
Слои:  
а - наночастицы  
б - полимер  
в - SiO<sub>2</sub>  
г - подложка из кремния



Многослойные металлоиэлектрическиеnanoструктуры



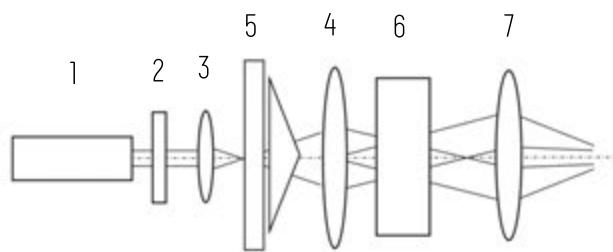
Метаматериалы на основе нанопиристого оксида с нанопорами, заполненными серебром



# Генератор радиально или азимутально поляризованного конического светового пучка

Генератор радиально или азимутально поляризованного конического светового пучка представляет собой систему из источника линейно поляризованного лазерного излучения и устройства, преобразующего это излучение в радиально или азимутально поляризованный конический световой пучок, а именно – в Бесселев либо кольцевой световой пучок. Принципиальная оптическая схема устройства представлена на рисунке.

## Оптическая схема генератора радиально или азимутально поляризованного конического светового пучка:



- 1 – источник лазерного излучения
- 2 – полуволновая пластинка
- 3 и 4 – система сферических линз, образующая телескоп
- 5 – коническая линза на продольной каретке
- 6 – специальным образом ориентированный двуосный кристалл
- 7 – опциональная коническая либо сферическая линза

## Применение:

Устройство может изготавливаться под заказ для заинтересованных организаций для получения радиально либо азимутально поляризованных световых пучков с целью применения их для решения задач профилометрии и прецизионной лазерной обработки материалов. Аксиальная симметрия электрического вектора в формируемом световом пучке позволяет обеспечить однородные по азимутальной координате условия с точки зрения поляризации падающего на исследуемую поверхность излучения. Фокусировка радиально поляризованного лазерного пучка позволит формировать конические световые пучки с малыми по диаметру максимумами интенсивности за счет продольной компоненты электрического поля.

## Технические характеристики:

- длина волны лазерного излучения определяется длиной волны используемого в составе генератора источника лазерного излучения и находится в диапазоне 400÷1100 нм
- режим работы – импульсный либо непрерывный, соответствует режиму работы используемого в составе генератора источника лазерного излучения
- апертура преобразуемого лазерного излучения – 1÷10 мм
- мощность преобразуемого лазерного излучения не превышает порога лучевой прочности используемого в составе устройства двуосного кристалла относительно осевого максимума интенсивности выходного пучка внутри кристалла
- коэффициент преобразования: при использовании просветления поверхностей входящих в состав устройства оптических элементов – до 90%, при отсутствии просветления – до 65%
- продольный размер (длина) устройства равен сумме длины используемого в составе устройства источника лазерного излучения и длины преобразователя, и составляет до 50 см
- поперечные размеры (ширина и высота) устройства не менее соответствующих габаритных размеров источника лазерного излучения



Поперечное сечение сформированного с помощью генератора Бесселя светового пучка с радиальной поляризацией

# Лазерный фотоакустический газоанализатор

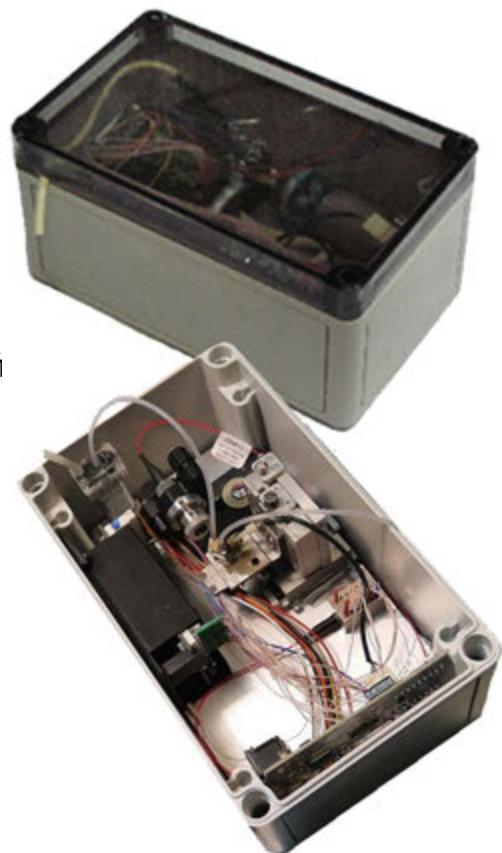
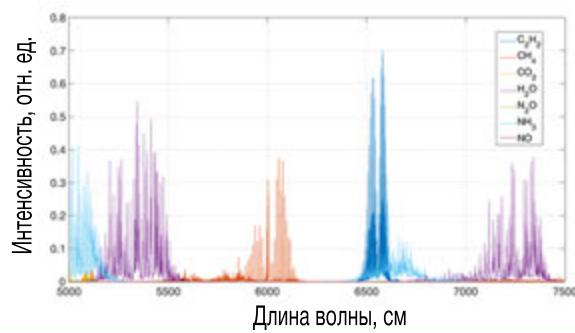
Газоанализатор на базе диодного лазера ИК-диапазона предназначен для локального детектирования газовой примеси (один газ или пары жидкости из списка: аммиак, метан, этан, этилен, ацетилен, этанол, метанол, оксид азота, оксид углерода, диоксид углерода, вода). Подходит для контроля промышленных выбросов в атмосферу, контроля технологических процессов, исследования выдыхаемого человеком воздуха и других применений.

## Отличительные особенности и преимущества:

- универсальность (применим к любому химическому соединению)
- высокая надежность (как «отпечатки пальцев»)
- идентификация газов
- высокие чувствительность и оперативность детектирования
- компактность и простота конструкции

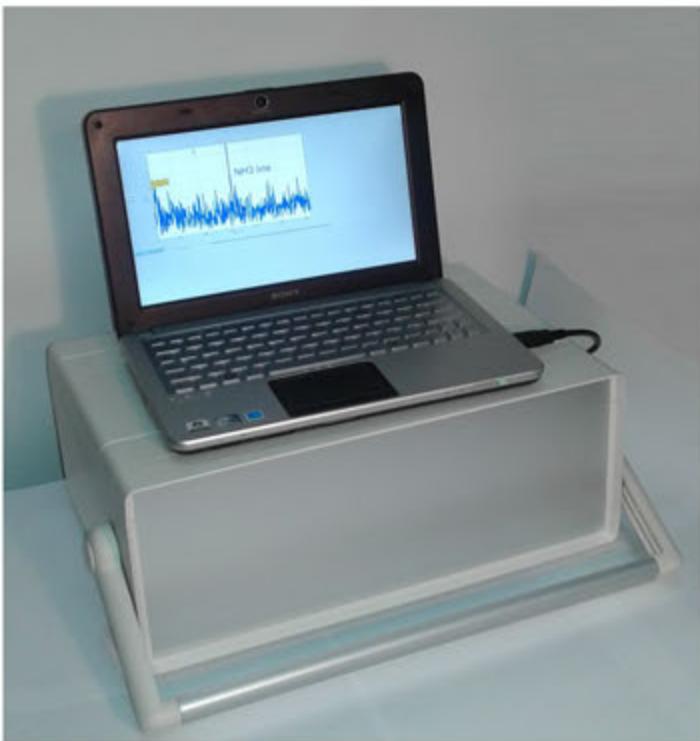
## Технические характеристики:

- тип лазера	полупроводниковый одномодовый
- диапазон длин волн	1-2, 4-7 мкм
- минимальный объем пробы	< 1 см <sup>3</sup>
- время измерения	1-2 с
- размеры	205×87×65 мм
- вес	< 1 кг
- напряжение питания	12 В
- чувствительность детектирования	коэффициент поглощения $10^{-7}$ см <sup>-1</sup>



## Детектор аммиака

Портативный автономный газоанализатор для локального контроля содержания паров аммиака в воздухе в режиме реального времени. Работа устройства основывается на методе фотоакустической ИК спектроскопии с использованием одномодового лазерного диода.



### Особенности:

- автономность
- портативность
- невысокая цена

### Технические характеристики:

- длина волны излучения	1.5 мкм
- мощность излучения	< 5 мВт
- время работы от батареи	2 часа
- напряжение электропитания	5 В
- размеры	367×250×143 мм
- время измерения	1-3 с
- объем пробы	< 1 см <sup>3</sup>

### Применение:

контроль технологических процессов и мониторинг утечек аммиака в различных областях сельского хозяйства, пищевой и нефтехимической промышленности.

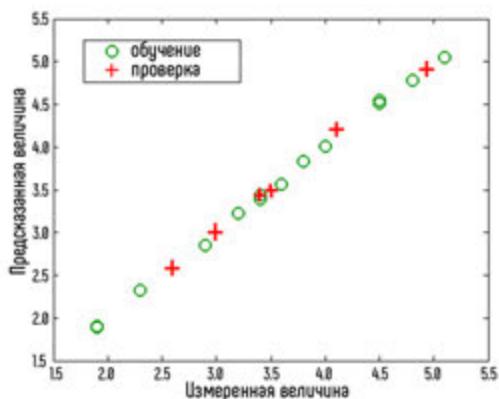
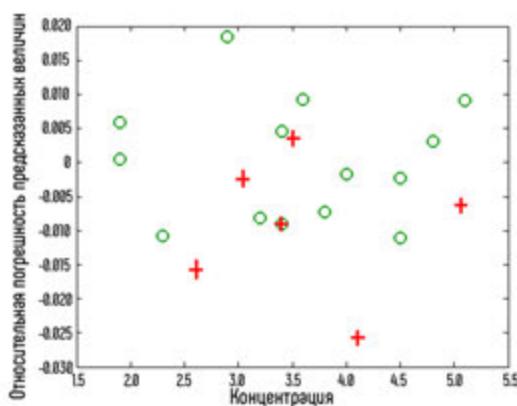
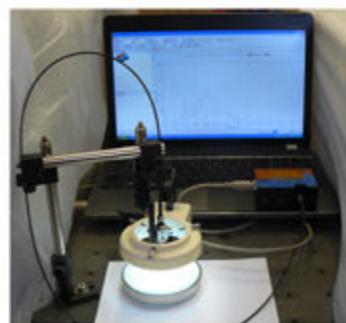


# Хемометрика (Идентификация и определение характеристик пищевой продукции с помощью многопараметрического анализа оптических спектров)

Для проведения идентификации и определения физико-химических характеристик промышленно выпускаемой пищевой продукции предлагается применять оптическую спектроскопию УФ-, видимого и ближнего ИК-диапазонов с многопараметрическими методами обработки данных. Пилотные проекты проведены по характеристикам водок, вин и растительных масел. При исследовании 153 сортов водочной продукции показана возможность решения задачи 100% выявления контрафакта путем многопараметрического анализа измеренных в УФ- и видимом диапазонах спектров пропускания.

## Технические характеристики для определения характеристик вин:

- диапазон длин волн	190–2500 нм (250–750 нм)
- спектральное разрешение	< 1 нм (2 нм)
- погрешность измерения пропускания	< 1%
- величина погрешности идентификации	< 5%
- погрешность калибровки концентрации:	
сиреневого альдегида	< 3%
этилацетата	< 6%
ванилина	< 16%



Соотношение (рисунок справа) и относительная погрешность (рисунок слева) предсказанных с помощью проекции на латентные структуры по спектрам пропускания в диапазоне 190–2500 нм величин концентрации сиреневого альдегида в обучающей (круги) и проверочной (кресты) выборках коньяков.

Разработанные многопараметрические методы анализа спектральной информации об однотипных объектах могут быть адаптированы для идентификации и поиска контрафакта также в фармацевтической, нефтехимической, парфюмерной, лакокрасочной и других видах массовой продукции.



# Малогабаритный терагерцовый спектрометр

Терагерцовый спектрометр предназначен для регистрации терагерцовых спектров пропускания, отражения, показателя преломления твердых, жидких и газообразных сред, а также для бесконтактного обнаружения и диагностики свойств полупроводниковых, керамических, полимерных материалов, биологических объектов, медицинских препаратов, вредных и опасных химических соединений для науки, промышленности, медицины, систем безопасности.

## Технические характеристики:

	МАК-1
- модель	
- спектральный диапазон	0.2 – 3 ТГц
- отношение сигнал/шум	60 дБ
- временное разрешение	<1 пс
- допустимая толщина исследуемого объекта	0 – 10 см
- длина волны лазера возбуждения	1.03 – 1.06 мкм
- длительность импульсов возбуждения	50 – 150 фс
- частота следования импульсов возбуждения	50 – 100 МГц
- средняя мощность излучения лазера возбуждения	20 мВт



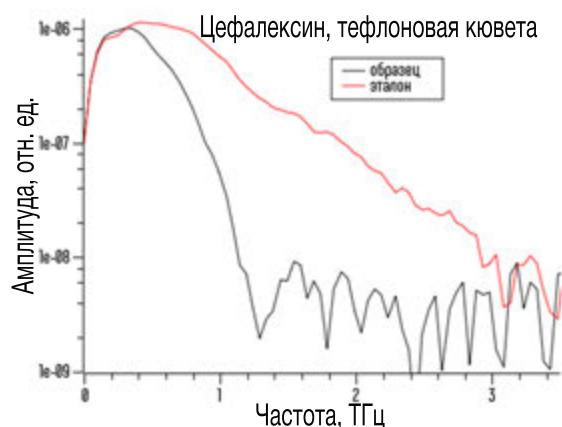
## Особенности и преимущества:

- одновременная регистрация спектров пропускания и показателя преломления
- возможность неразрушающего контроля свойств объектов, скрытых в бумажной, картонной, пластиковой упаковке
- малые габариты и вес

Терагерцовое излучение спектрометра **проникает сквозь бумагу, керамику, кожу, одежду, полимеры и порошковые изделия.**

В отличие от рентгеновского излучения, оно **не опасно для человека.**

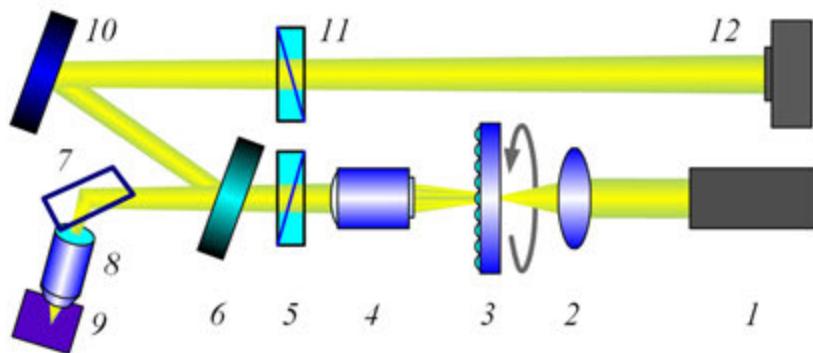
Может использоваться **в системах безопасности** для обнаружения наркотиков, взрывчатых и других веществ, скрытых в бумажных и пластиковых пакетах, под одеждой и т.п.



# Поляризационный микроскоп с лазерной системой освещения

Микроскоп предназначен для исследования субмикронных объектов и поляризационных эффектов в микробиологии и микроэлектронике.

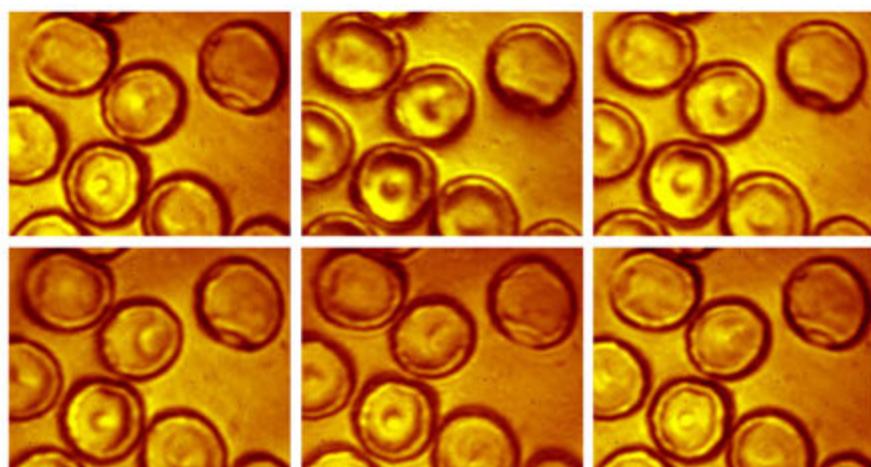
## Оптическая схема лазерного поляризационного микроскопа с субмикронным разрешением



1 – лазерный модуль; 2 – коллекторная линза; 3 – вращающийся микролинзовый растр; 4 – конденсор;  
5 – поляризатор; 6 – широкополосное зеркало,  $R \approx 50\%$ ; 7 – поворотная пластина; 8 – объектив;  
9 – образец; 10 – широкополосное зеркало,  $R \approx 100\%$ ; 11 – анализатор; 12 – цифровая камера без объектива.

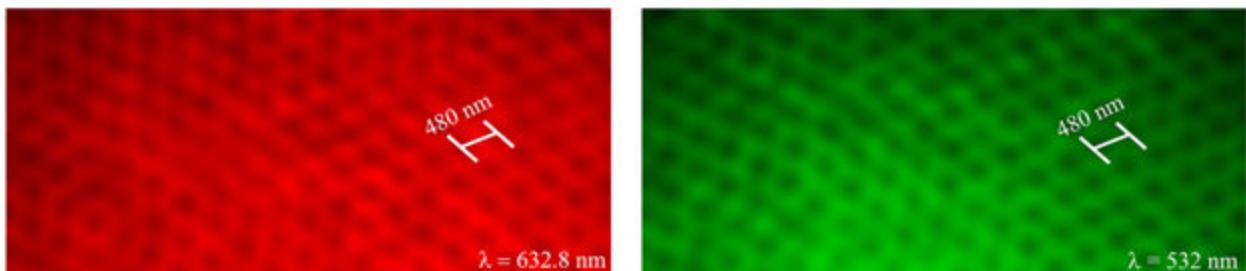
### Микробиология:

Высушенные эритроциты крови человека при меняющемся косом освещении (в отраженном свете). Объектив 60 $\times$ /0.85, длина волны  $\lambda = 632.8$  нм



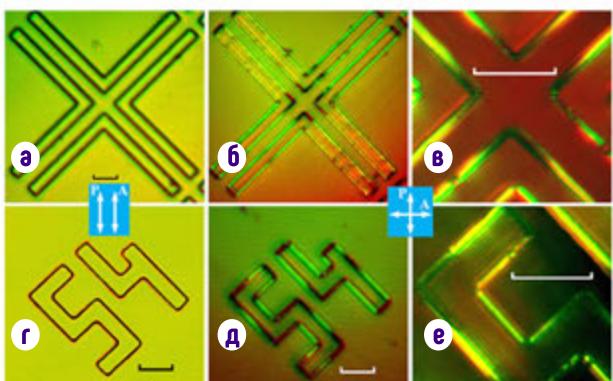
### Субволновые структуры:

Микрофотографии структуры с периодом меньше длины волн лазерных источников освещения. Объектив  $90^x/1.35$ , дистиллированная вода в качестве иммерсионной жидкости.

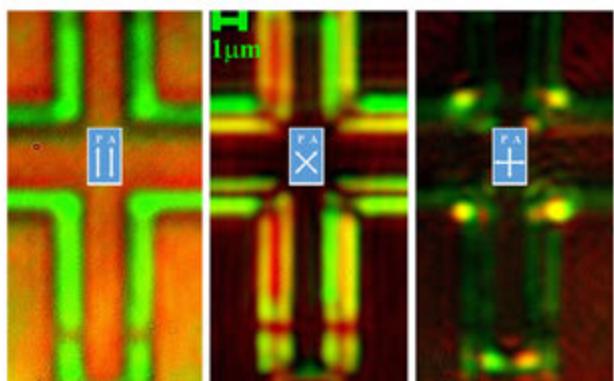


### Микроэлектроника:

Структуры на пленке золота. Взаимное положение поляризатора Р и анализатора А показано схематически. Объективы:  $10^x/0.3$  (а, б, г, д) и  $60^x/0.85$  (в, е). Длины волн:  $\lambda_1 = 532$  нм,  $\lambda_2 = 632.8$  нм. Шкала 10 мкм.



Элементы микросхемы – прямоугольные металлические структуры. Взаимное положение поляризатора Р и анализатора А показано схематически. Объектив  $60^x/0.85$ . Длины волн:  $\lambda_1 = 532$  нм,  $\lambda_2 = 632.8$  нм.



### Технические характеристики:

Микроскоп позволяет зарегистрировать детали двулучепреломляющих структур с поперечными размерами менее длины волны лазерных источников освещения.

### Особенности микроскопа:

Эффективность лазерного блока освещения с суммарной мощностью 20 мВт эквивалентна ламповой системе мощностью > 100 Вт.



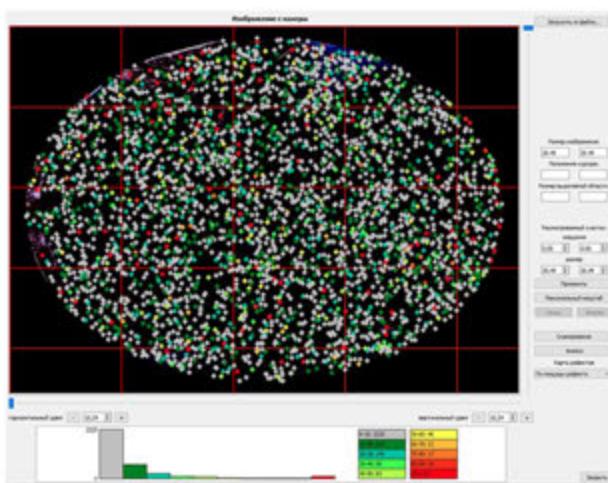
# Лазерно-оптический анализатор дефектов «Луч-54»

Предназначен для контроля поверхности полированых пластин из полупроводниковых и диэлектрических материалов (кремния, германия, арсенида галлия, сапфира), в том числе с эпитаксиальным слоем, с целью обнаружения локальных дефектов, обусловленных нарушением кристаллической структуры (дефекты роста), наличием посторонних частиц (пыль, резист, растворители) и нарушением целостности технологических слоев (царапины).

## Функции:

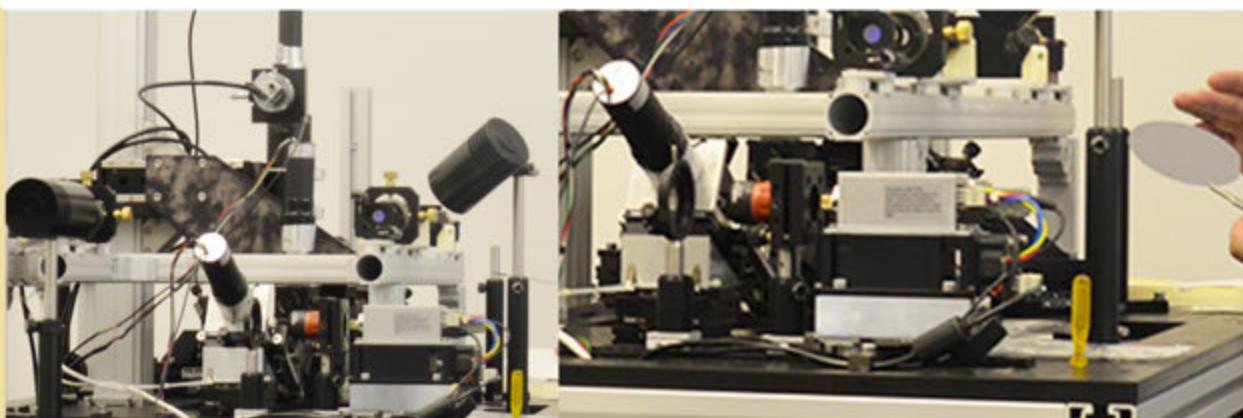
- автоматическое сканирование всей пластины в скоростном и пошагово-гнездовом режимах
- навигация в интерактивном режиме с детальным просмотром участка пластины с высоким разрешением (до 200 нм)
- автофокус
- отображение в темном и светлом поле
- отображение пластины с различным разрешением
- автоматическое распознавание типа дефекта (дефект роста, привнесенный дефект, царапина, загрязнение)
- автоматический подсчет статистики распределения дефектов по размеру и типу
- определение матовости поверхности
- автоматическое сохранение результатов измерения и изображений на диск или сменный носитель

## Статистика дефектов на пластине



## Регистрируемая информация:

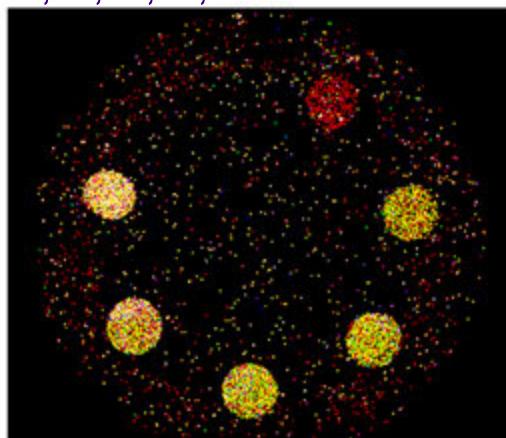
- карта дефектов поверхности с цветовой кодировкой дефектов по размерам и типу
- гистограмма частиц по размеру и типу
- карта матовости поверхности с цветовой кодировкой
- карта интегральной фотолюминесценции
- изображения участков пластины с разрешением 500 (до 200) нм в темном и светлом поле



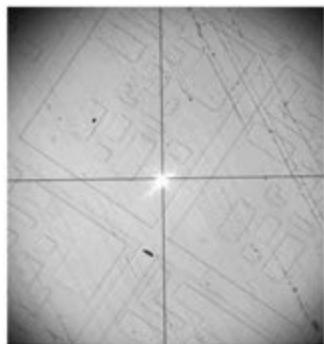
## Опции:

- поляризационный контраст (подавление рассеяния от шероховатости поверхности)
- симметричная угловая подсветка лазером
- подсветка светодиодом
- до четырёх каналов регистрации рассеянного излучения
- цифровой микроскоп
- сменные микрообъективы,  $10^x$ ,  $20^x$ ,  $50^x$
- канал интегральной фотolumинесценции
- загрузка и выгрузка пластин – в ручном режиме или из SMIF контейнера

**Изображение тестовой пластины (Wafer Calibration Standard, MSP Corp), диаметр пластины 200 мм. Наблюдаемые наночастицы 1100, 360, 305, 205, 155, 105 нм**



**Изображение участка 1 × 1 мм структурированной пластины в светлом поле**



**Изображение участка 1 × 1 мм неструктурированной пластины в темном поле**



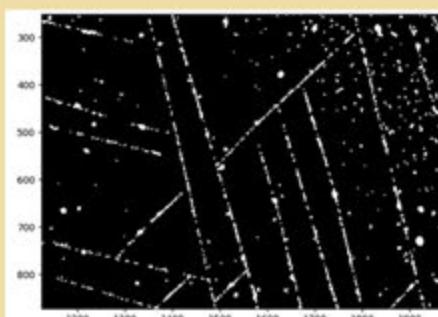
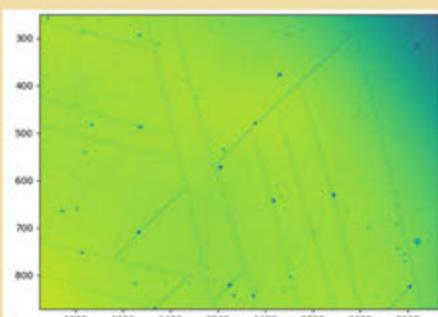
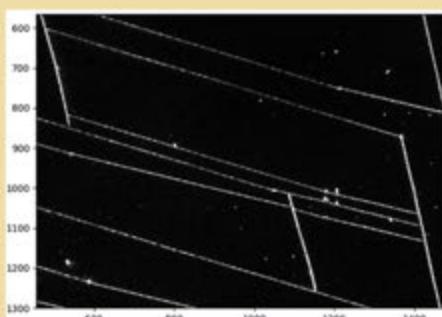
## Спецификация:

- минимальный диаметр контролируемых дефектов < 100 нм
- диаметр контролируемых пластин – до 200 мм ( дополнительно до 300 мм)
- мин. время контроля пластины диаметром 200 мм – 3 мин
- толщина пластин – до 1000 мкм
- тип пластин – пластины с полированной и структурированной поверхностью из полупроводниковых и диэлектрических материалов

**Карта матовости пластины, диаметр 100 мм**

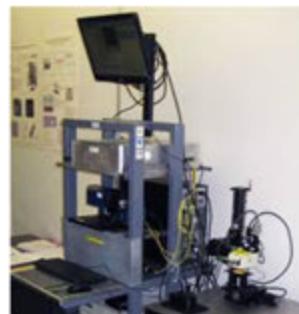


## Пластины с трещинами

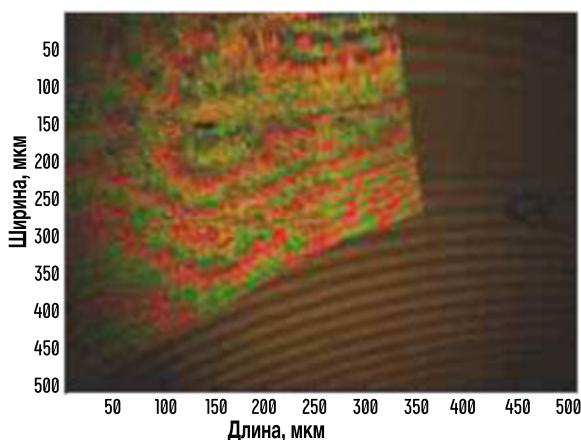


# Установка оптической когерентной томографии «ОКТЭМ»

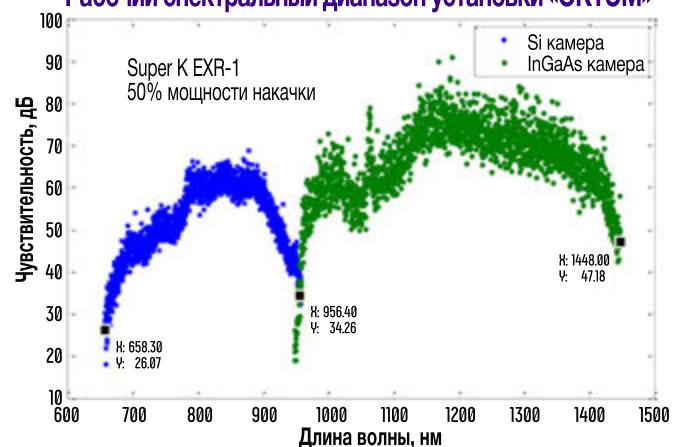
Установка позволяет бесконтактно регистрировать спектрально- и поляризационно-контрастные томографические изображения полупроводниковых и диэлектрических материалов, а также биологических тканей, обладающих областью прозрачности в ИК-диапазоне, и по изображениям оценить морфологию и функциональное состояние исследуемого объекта. Применяется для исследований в области промышленного неразрушающего контроля и медицинской диагностики.



## Изображение тестовой структуры пластиинки анодированного $\text{Al}_2\text{O}_3$ с порами



## Рабочий спектральный диапазон установки «ОКТЭМ»



## Отличительные особенности и преимущества:

- широкий спектральный диапазон
- контроль внутренней структуры материалов и изделий полупрозрачных в ИК диапазоне
- обнаружение малоконтрастных дефектов
- определение морфологических свойств объекта
- исследования по диагностике заболеваний и степени инвазии кожных покровов
- разработка мобильных диагностических систем

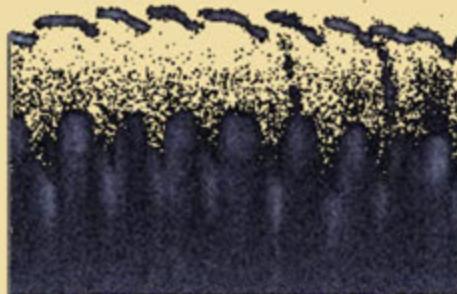
## Технические характеристики:

- рабочий спектральный диапазон 650 – 1400 нм
- поперечное разрешение 5.5 (до 1) мкм
- продольное разрешение < 3 мкм (до 0.6) мкм
- область сканирования 100 x 100 x 6 мм
- максимальная частота сканирования 50 (до 140) кГц
- контраст спектрально-поляризационный

Мякоть яблока



Покровы пальца человека



# Спектральный эллипсометр с ахроматическим микропятном



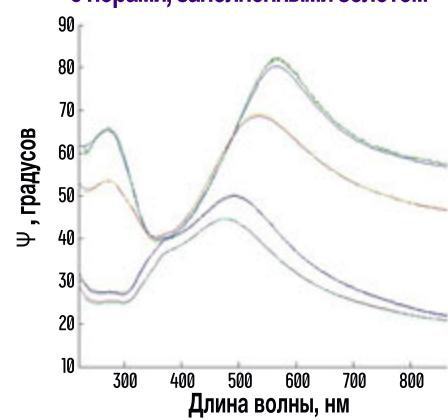
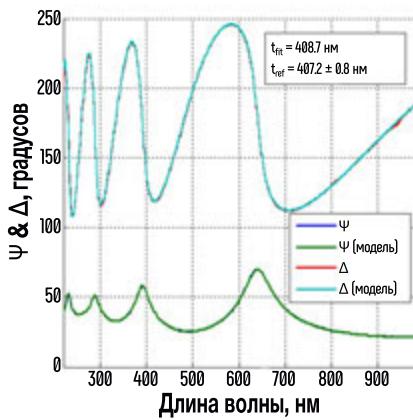
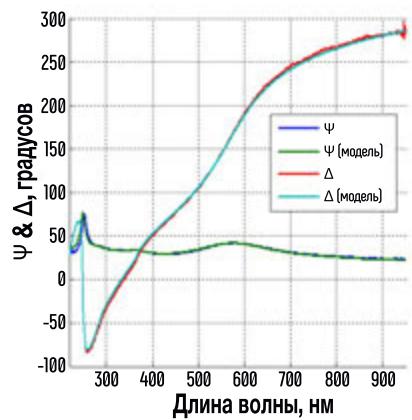
Спектральный эллипсометр с ахроматической фокусирующей оптикой позволяет локально измерять оптические параметры структурированных тонких пленок в широком спектральном интервале от 220 до 980 нм с поперечным разрешением до 30 мкм и разрешением по толщине пленки менее 1 нм.

Экспериментальные и рассчитанные по модели спектры эллипсометрических характеристик образцов пленки:

$\text{Si}_3\text{N}_4$  на кремнии

кварц на кремнии

параметры пористых структур  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ ,  
с порами, заполненными золотом

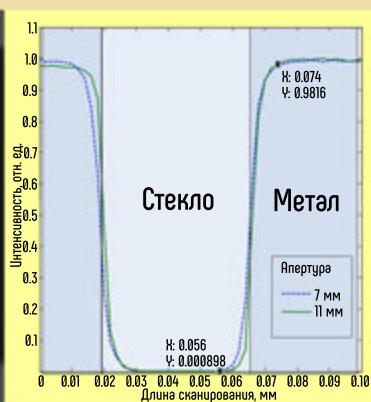
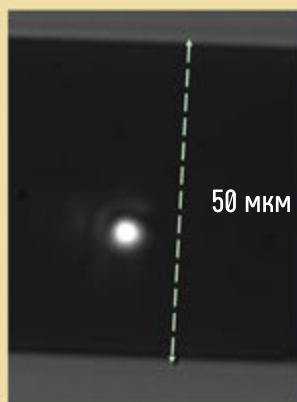
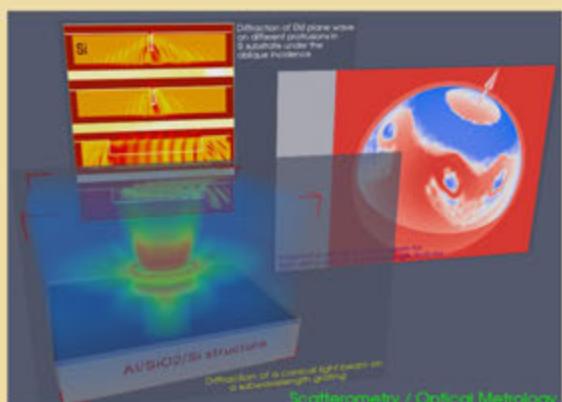


## Технические характеристики:

- спектральный интервал 220 – 980 (190-1600) нм
- погрешность  $\pm 0.25$  град (на  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  образцах)
- погрешность  $\pm 0.5$  град (на  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  образцах)
- погрешность определения толщины слоя  $\pm 0.1$  нм
- латеральное разрешение  $30 \times 50$  мкм
- диапазон углов падения 55 - 75 град

## Особенности и преимущества:

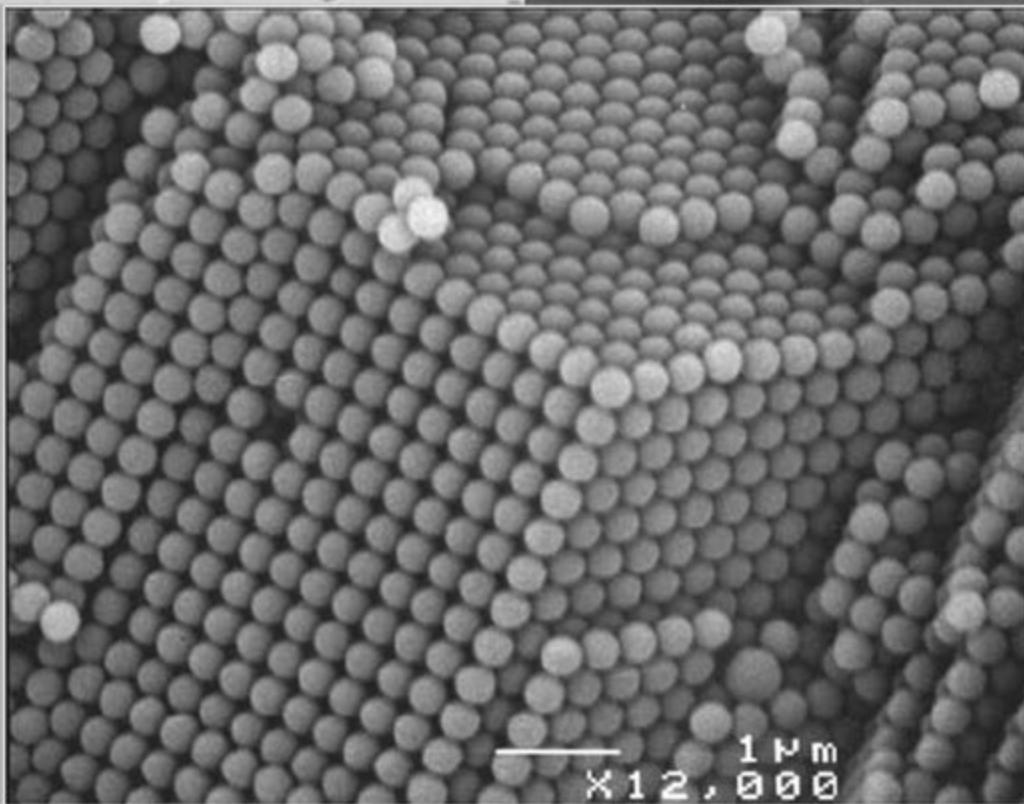
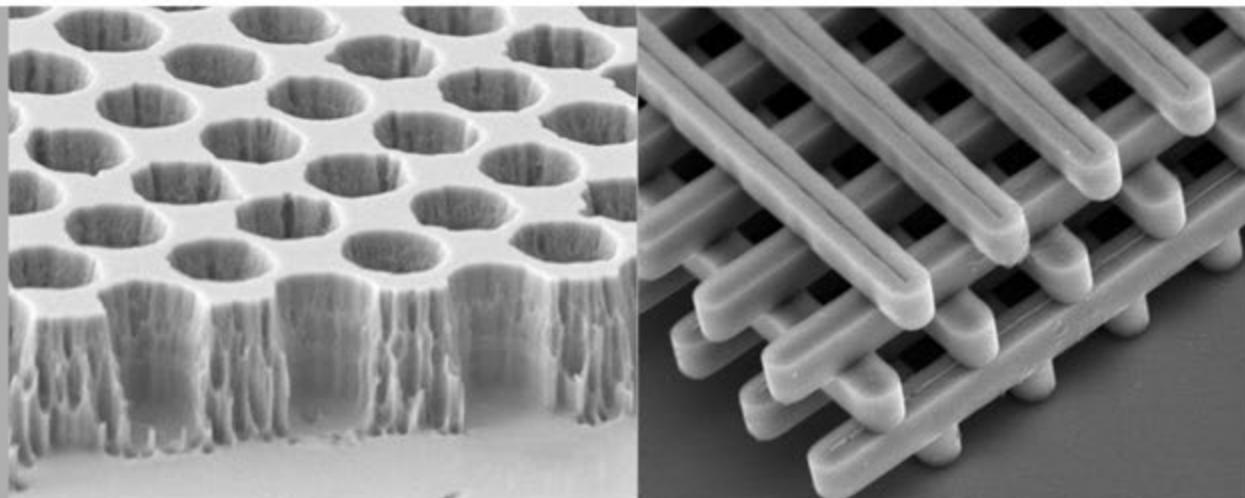
- не более 250 знаков
- применения для опто- и микроэлектроники и микросистемной техники:
- определение размерностных характеристик объемных структур и тонких пленок с разрешением менее 1 нм
- характеризация морфологических свойств эпитаксиальных слоев и подложек (пористость, шероховатость поверхности)



# ЦЕНТР «ФОТОНИКА АТОМНЫХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ СТРУКТУР»

## Основными направлениями исследований являются:

- исследование сверхбыстрых фотопроцессов в веществе на основе развития и применения техники ультракоротких лазерных импульсов
- оптика случайно-неоднородных дисперсных сред,nanoструктур и фотонных кристаллов
- спектроскопия и люминесценция высокотемпературных паров и струйно-охлажденных молекул
- исследование радиационных дефектов и их оптических свойств в кристаллах и кристаллических структурах
- разработка интеллектуальных систем решений в медицине с использованием компьютерного моделирования и технологии Data Mining



# Фемтосекундная лазерная система с импульсной накачкой

Современные фемтосекундные лазеры представляют собой полностью твердотельные непрерывно накачиваемые системы. Генераторы фемтосекундных импульсов делают на основе широкополосных кристаллических сред (таких, например, как титан:сапфир) или на базе оптического волокна со специфическими свойствами. В качестве источников накачки генераторов фемтосекундных импульсов используются светодиоды либо твердотельные лазеры с диодной накачкой. Такие генераторы непрерывно производят фемтосекундные импульсы с частотой около 100 МГц. Энергия в одном импульсе порядка 1 нДж. Для многих практических применений требуется усиление этих импульсов. Как правило усиитель делается на основе широкополосных активных сред с накачкой импульсным (либо квазинепрерывным) твердотельным лазером (например Nd:YAG) с частотой повторения 1 Гц -10 кГц.

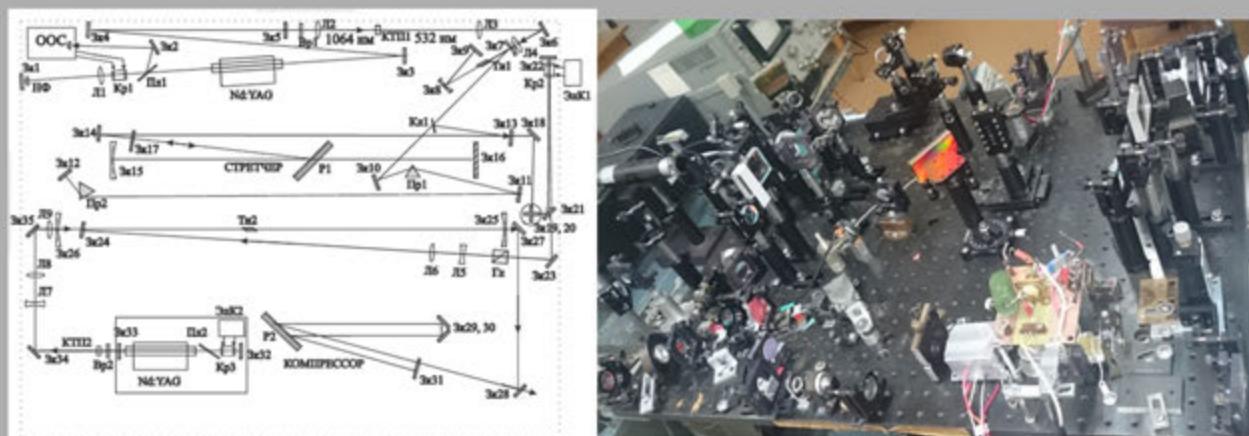
## Достоинства таких систем:

- высокая стабильность параметров излучения
- большая частота повторения импульсов

## Недостатки:

- высокая стоимость
- невысокое качество оптики
- чувствительность к внешним воздействиям

Центром был реализован метод использования керровской нелинейности для синхронизации мод в импульсных синхронно накачиваемых твердотельных лазерах, позволяющий получать фемтосекундные импульсы, не уступающие по длительности генерируемым в условиях непрерывной накачки. Лазеры такого типа, не требующие дорогостоящих систем накачки, характеризующиеся пониженными требованиями к качеству оптических элементов, естественным образом совместимые с импульсными усилительными каскадами, представляются достаточно практическими и могут найти широкое применение. Благодаря заложенному в основу оригинальному методу генерации фемтосекундных импульсов предлагаемая система может быть полностью построена на отечественной элементной базе.



## Параметры фемтосекундной лазерной системы:

- |                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| - частота следования импульсов | до 50 Гц     |
| - длительность импульса        | ~ 100 фс     |
| - энергия в импульсе           | ~ 1 мДж      |
| - область перестройки          | 770 - 830 нм |

## ЦЕНТР «КВАНТОВАЯ ОПТИКА И КВАНТОВАЯ ИНФОРМАТИКА»

Центр «Квантовая оптика и квантовая информатика» создан на базе лаборатории квантовой оптики – одного из признанных мировых лидеров в области квантовой оптики и квантовой информатики.

Растущие потребности в скорости обработки больших объемов данных, а также необходимость в уменьшении технологических размеров микро- и нано- электроники привели к развитию квантовой оптики и квантовых информационных технологий. Используемые на данный момент технологии квантовой коммуникации (квантового распределения ключа), возможности разрабатываемых квантовых процессоров и компьютеров, а также квантовых симуляторов и сенсоров поставили перед наукой принципиальные вопросы разработки надежных квантовых устройств, сохраняющих когерентность и свойство перегутанности, но при этом допускающих индивидуальную адресацию и считывание отдельных кубитов.

Сотрудники центра обладают необходимыми компетенциями в этих быстроразвивающихся направлениях. Ими получен ряд фундаментальных пионерских результатов. Разработаны теория детектирования квантовых состояний оптических полей, включая теорию непрерывных квантовых измерений, теория излучения одиночных квантовых объектов, теория немарковской релаксации, на основе которых предложены методы генерации сжатых и других неклассических состояний света.

Ряд новых квантовых эффектов и явлений, которые стали ключевыми для реализации квантово-информационных технологий предсказаны сотрудниками центра. **Среди них:**

- эффект группировки и антигруппировки фотонов, испущенных одиночными излучателями (1977 г.). Данный эффект лежит в основе общепринятой в настоящее время методики тестирования "одиночности" квантовых систем на основе измерения  $g^{(2)}$
- явление одноатомной фазовой бистабильности в высокодобротных микрорезонаторах (1991 г.)
- "замораживание" спонтанного распада в фотонных кристаллах (1992 г.), явление, которое используется для сохранения квантовой когерентности излучающих кубитов
- подавление квантового динамического туннелирования с помощью когерентного периодического возмущения (1996 г.), явление, которое позволяет управлять динамикой кубитов, а также ряд других приоритетных результатов, признанных в мире.

Сделан основополагающий вклад в развитие твердотельной квантовой информатики: сотрудниками центра впервые предложено использование твердотельных дефектов – т.н. NV-центров в алмазе – для квантовых информационных технологий. Продемонстрировано, что данная система обеспечивает сохранение квантовой когерентности и перегутанности при комнатной температуре, а также предоставляет возможность управления одиночными электронными и ядерными спинами, играющими роль квантовых кубитов в различных квантово-информационных устройствах. Были разработаны приложения для квантовых систем на основе NV-центров в алмазе: от логических квантовых вентилей до квантовых сенсоров (в том числе магнитных градиометров), которые были продемонстрированы в ряде экспериментов.

### **Среди других крупных результатов сотрудников центра:**

- первая в СНГ волоконно-оптическая система квантовой криптографии (2007 г.) на основе временного кодирования однофотонных импульсов, обеспечивающая распределение ключа на десятки километров

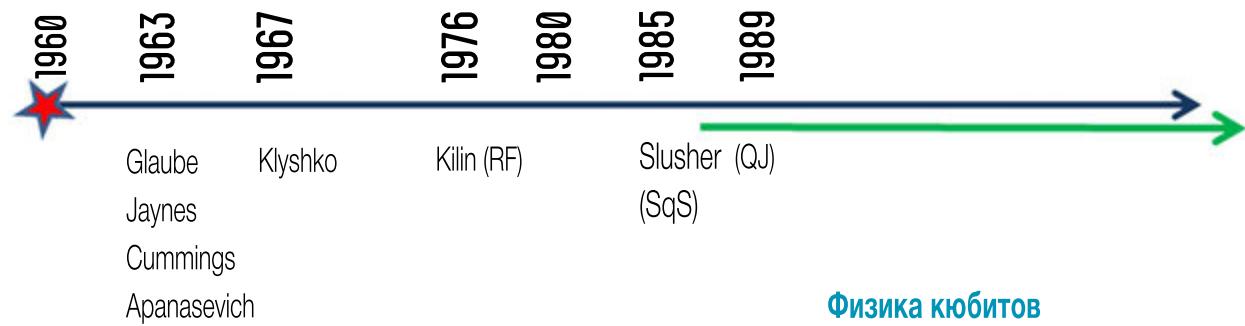
- уникальный квантовый генератор случайных чисел на основе оптоэлектронной пары, работающий на одиночных фотонах, и обеспечивающий гарантированное качество случайных последовательностей. Созданный генератор используется в системах защиты информации (2010 г.).

Лаборатория, а теперь центр, делает очень много для развития квантовой оптики и информатики в мире и, особенно, в странах бывшего СССР. Первый русскоязычный обзор по квантовой информатике опубликован в 1999 г. в УФН. Изданы монографии по квантовой оптике (1990 г., 2001 г.), квантовой криптографии (2007 г.) и квантовым вычислениям (2010 г.). Известные международные конференции по квантовой оптике и квантовой информатике ICQOQI проводятся сотрудниками центра раз в два года. В 90-е годы эти конференции сконцентрировали вокруг себя российских ученых и стали катализатором развития квантовой оптики, а затем и квантовой информатики на территории СНГ. Были выполнены и выполняются международные научные проекты в области квантовой физики и информатики, финансируемые NSF (США), FP6, FP7, Horizon 2020 (ЕС) и др.

В настоящее время деятельность центра направлена на развитие квантовой теории измерений, твердотельной квантовой информатики, резонаторной квантовой электродинамики и квантово-оптических нейросетей, включая:

- изучение и моделирование парамагнитных центров окраски в алмазе и их комплектов с ядерными спинами для применений в квантовой информатике, нанометрологии и наносенсорике
- исследование применения неклассических состояний света для квантового имаджинга, сенсинга и сверхразрешающей микроскопии, квантовая диффузионная фотоника и генерация неклассических состояний света
- разработка квантовой теории временной линзы и теории меры неклассичности оптических полей, совершенствование протоколов квантовой криптографии и анализ их криптографической стойкости
- экспериментальные исследования стохастических и нелинейно-динамических явлений в лазерах с вертикальным резонатором и использование их для задач генерации случайных числовых последовательностей и усиления различного рода сигналов
- исследования протекания ап-конверсионных процессов в матрицах допированных редкоземельными ионами в применении к различным спектроскопическим задачам
- сканирующая ближнеполевая оптическая микроскопия

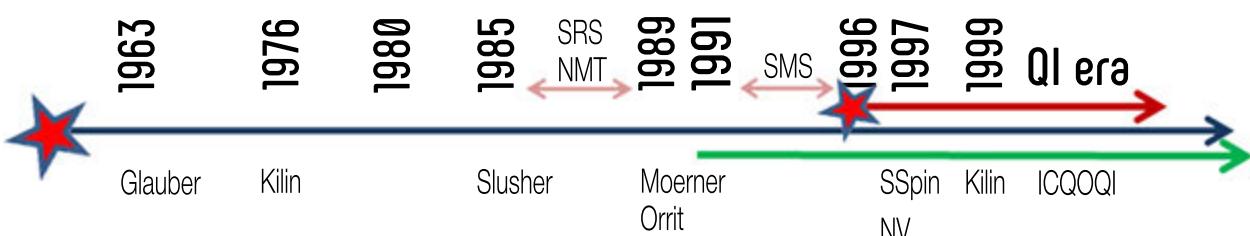
# Квантовая оптика для квантовой информатики



Фотоны летающие кубиты

**Одноатомная резонансная флуоресценция**  
**Группировка и антигруппировка фотонов, коллективные эффекты**  
Apanasevich, Kilin (1976, 1977, 1978, 1979)  
Kilin (1980, 1982)

Сжатые состояния - генерация, критерий многомодового сжатия, аномальные корреляторы  
Kilin (1985, 1989)  
Piskarskas, Stabinis, Gadonas (1990, 1991)  
**Теория непрерывных квантовых измерений (квантовые скачки)**



**Стационарные кубиты – отдельные атомы, молекулы, центры окраски**

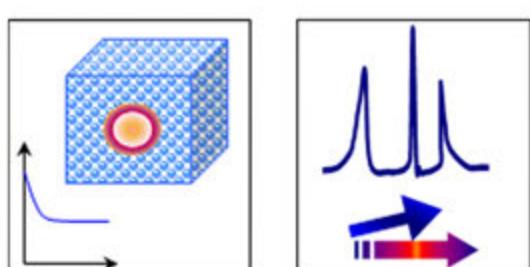
**Кубиты в окружении – декогеренция**

**Одноатомная оптическая бистабильность**  
Kilin, Krinitskaya (1991)

**Немарковская теория релаксации**  
Apanasevich, Kilin, Nizovtsev (1985, 1987, 1990)

**Спектроскопия одиночных молекул**  
Kilin, Nizovtsev, Berman, von Borczyskowski. (1996, 1997, 1998)

**Подавление квантового туннелирования**  
Kilin, Berman, Maevskaya (1996)



**Замораживание спонтанного распада в фотонных кристаллах**  
Kilin, Mogilevtsev (1992)

**Квантовые флюктуации и генерация солитонов в ВКР**  
Kilin, Orlovich , Grabchikov (1985, 1987, 1992)

# Элементы памяти твердотельных квантовых компьютеров

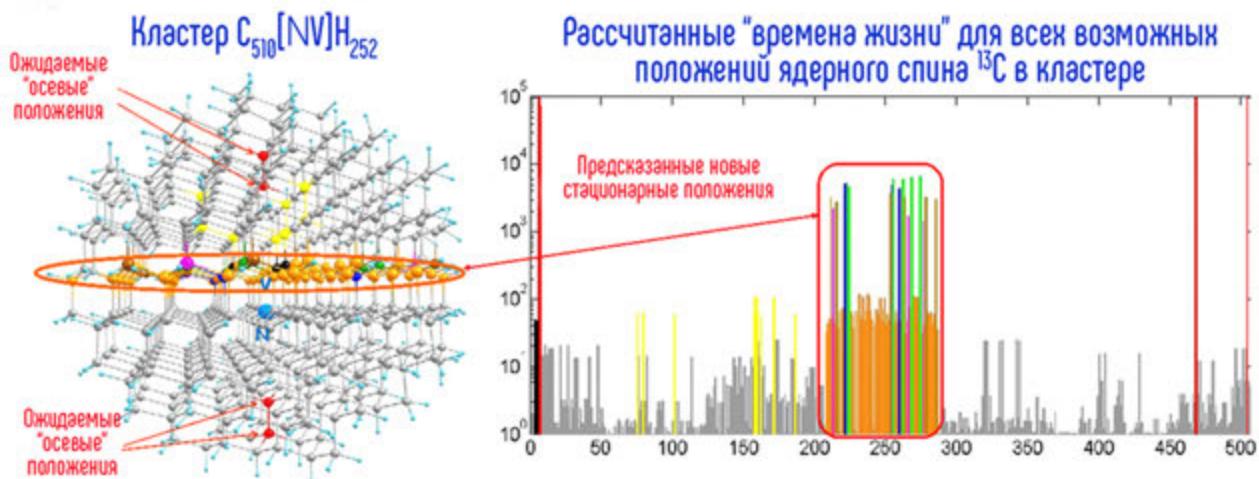


ТОП - 10  
НАН Беларусь  
2018 г.

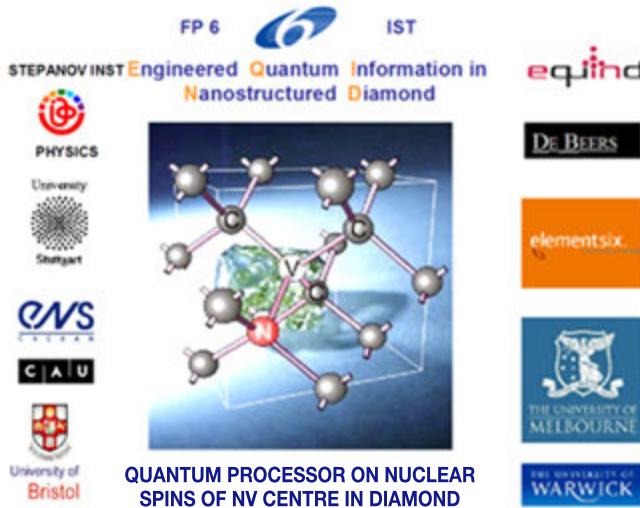
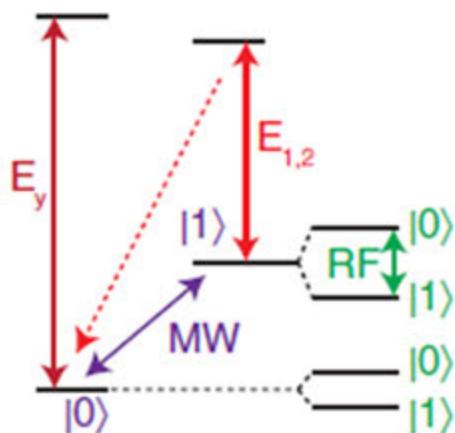
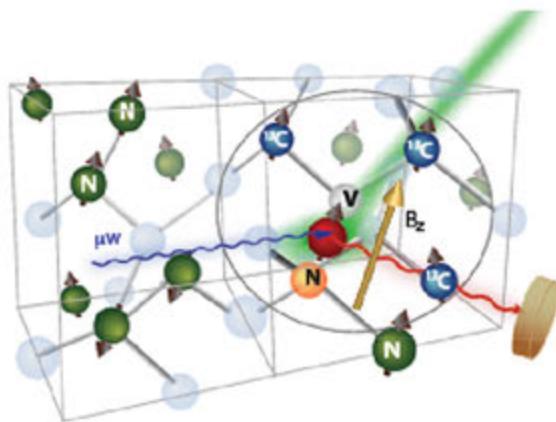
Впервые создана подробная база данных о характеристиках сверхтонкого взаимодействия центра окраски «азот-вакансия» с ядерными спинами  $^{13}\text{C}$  в нанокластере алмаза, предсказано и подтверждено целевым экспериментом существование принципиально нового класса стабильных спинов  $^{13}\text{C}$ , наиболее подходящих для использования в качестве элементов памяти твердотельных квантовых компьютеров.

Для реализации разрабатываемых квантовых технологий второго поколения особенно перспективными являются системы взаимодействующих электронных и ядерных спинов в твердых телах, в которых электроны играют роль «быстрых» кубитов и могут использоваться в качестве интерфейсов с «летающими» кубитами – фотонами, а ядерные спины могут хранить квантовую информацию в течение долгого времени благодаря их исключительно высокой изоляции от окружения. Наиболее успешными представителями таких систем являются центры окраски «азот – вакансия» (NV) в алмазе и их комплексы с ядерными спинами  $^{13}\text{C}$  (естественное содержание ~1.1%). Критическим фактором для эффективной реализации одно- и двух-кубитных операций с помощью таких систем является детальная характеристизация и полное понимание сверхтонких взаимодействий (СТВ).

На основе компьютерного моделирования характеристик СТВ в кластере  $\text{C}_{510}[\text{NV}]\text{H}_{252}$  выполнен расчет экспериментально наблюдаемых величин для всех возможных электронно-ядерных спиновых систем NV- $^{13}\text{C}$ , отличающихся положением ядерного спина  $^{13}\text{C}$  в кластере. Выполнен целенаправленный поиск положений атома  $^{13}\text{C}$  в кластере, в которых ядерный спин  $^{13}\text{C}$  не испытывает стохастических переворотов, индуцируемых его СТВ с электронным спином NV центра. В дополнение к ожидаемым положениям атома  $^{13}\text{C}$ , расположенным на оси NV центра, предсказано существование нового класса таких стационарных систем NV- $^{13}\text{C}$ , в которых ядерный спин  $^{13}\text{C}$  расположен в плоскости, перпендикулярной оси NV центра. Сделанные предсказания экспериментально подтверждены специально поставленным экспериментом, выполненным в группе проф. Ф. Железко (Университет Ульма, Германия).



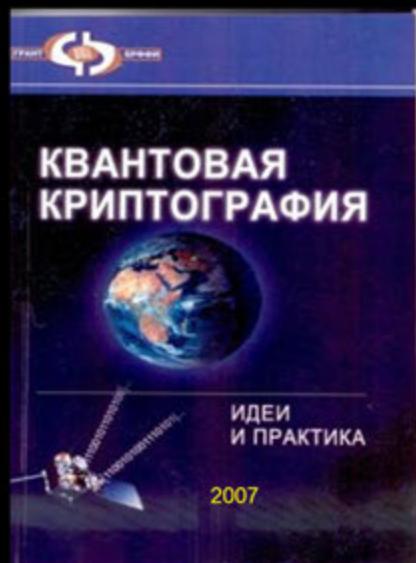
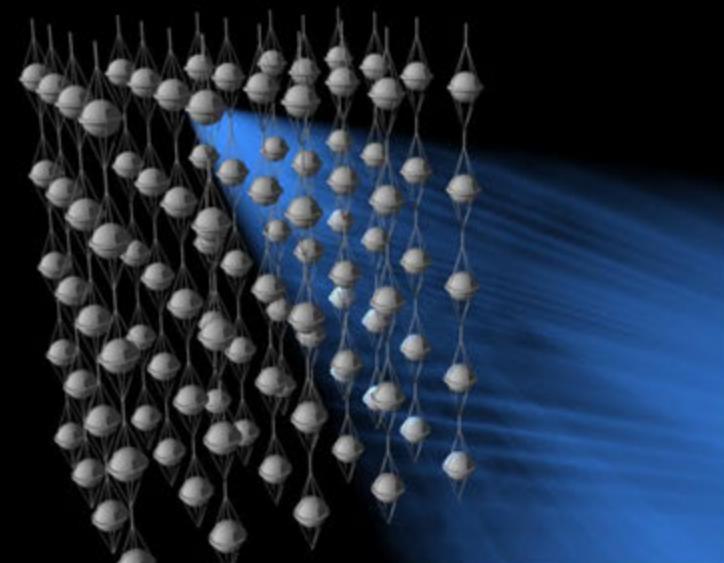
## «Приручение» отдельных спинов: NV центры в алмазе



### Выводы:

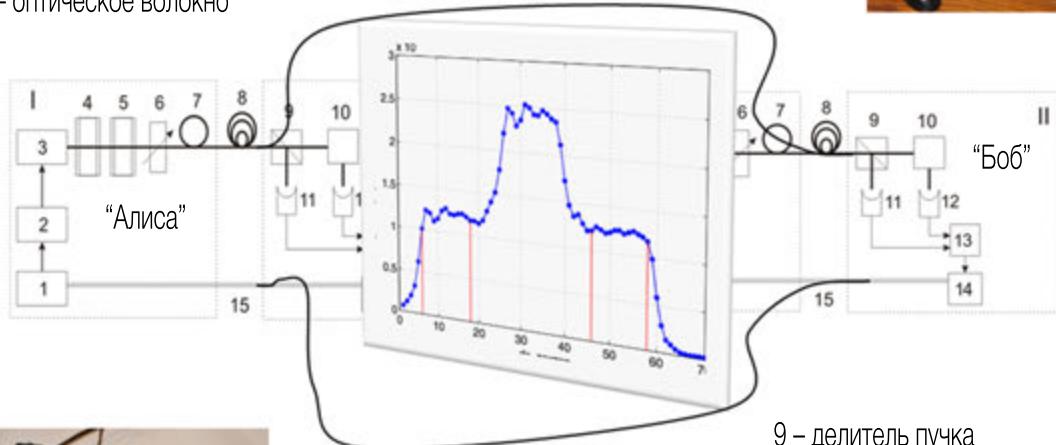
- управление когерентно индивидуальными ядерными спинами (Q physics)
- подавление спиновой декогерентности (Material science)
- свойства системы спинов NV+n<sup>13</sup>C (Q chemistry)

## Квантовая криптография на одиночных фотонах



# Первая в СНГ система Квантового распределения ключа (КРК) (2007)

- 1 – ПЭВМ «Алиса»
- 2 – генератор TTL-импульсов
- 3 – п/п лазер (VCSEL)
- 4, 5, 6 – аттенюаторы 20, 30 дБ
- 7,8 – оптическое волокно

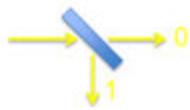


Кодирование  
во временные интервалы

- 9 – делитель пучка
- 10 – интерферометр
- 11,12 – детекторы одиночных фотонов
- 13 – АЦП
- 14 – ПЭВМ «Боб»
- 15 - классический канал связи

## Квантовые генераторы случайных чисел

### Однофотонные ГСЧ



Встроенное исполнение



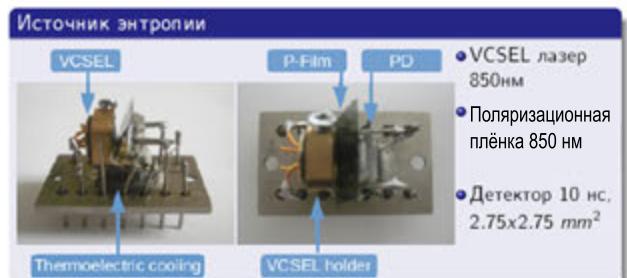
### Батареи тестов

- ENT-tests (<http://www.fourmilab.ch/random>)
- NIST (NIST Special publication 800-22 Revision 1, 2008)
- DieHard (<http://www.csis.hku.hk/~diehard/>)

### Результат

Все тесты успешно пройдены

### Случайность времен отсчетов



### Спецификация



- Вывод данных: Ethernet 1Gbit
- Скорость: до 600Мбит
- Питание: ~220В
- Габариты: 20 см x 25 см x 5 см
- ПЛИС Altera Cyclone IV

## ЦЕНТР «НАНОФОТОНИКА»

Центр занимает лидирующие позиции в республике в области нанофотоники – одном из наиболее активно развивающихся направлений современной физики.

Исследования, проводимые в центре, охватывают широкий круг вопросов, связанных с особенностями взаимодействия электромагнитного излучения с веществом на наномасштабах, выполняются фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования оптических свойств сложных структур, включая разупорядоченные системы, фотонные кристаллы и метаматериалы.

В частности, сотрудниками центра показано, что плазмонные наноструктуры могут применяться для усиления люминесценции, детектирования изменений показателя преломления, спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния, что может в дальнейшем использоваться для создания наносенсоров и светоизлучающих элементов, медицинских и фотovoltaических приложений, для анализа произведений искусства.

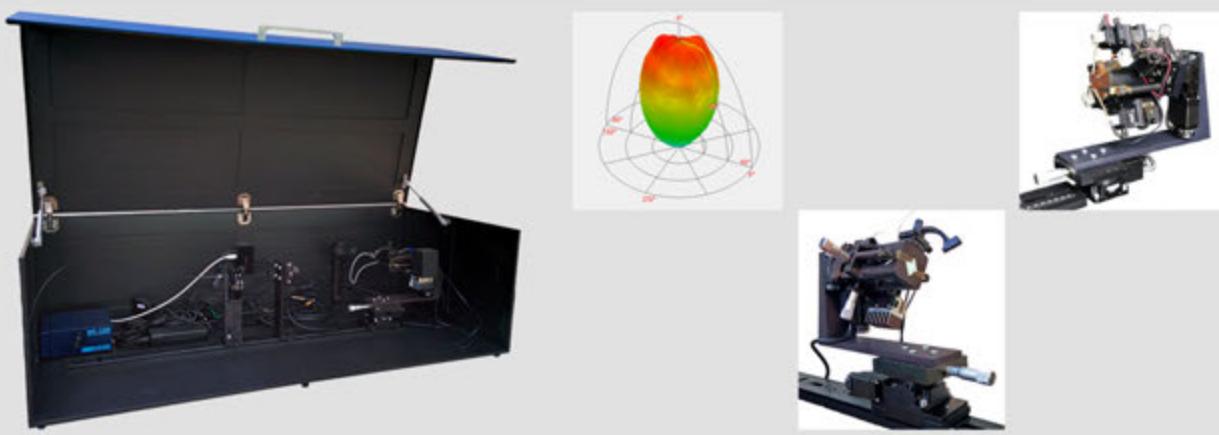
Для решения этих задач освоен ряд методов синтеза наноструктур сложной топологии, а также разрабатываются оригинальные подходы. Значительное внимание уделяется приборостроению, в частности в центре разработан и создан оригинальный измерительный комплекс – гониофотоспектрометр «Globoflux», предназначенный для измерения пространственных характеристик излучения люминесцирующих структур и светодиодов.



# ГОНИОФОТОСПЕКТРОМЕТР

## Область применения:

- измерение углового распределения параметров излучения светодиодов и люминесцирующих структур с внешним возбуждением
- измерение диаграмм рассеяния



## Технические характеристики:

- диапазон сканирования	
в тангенциальном направлении	0 – 90°
в радиальном направлении	0 – 360°
- угловое разрешение	0.5° или лучше
- точность позиционирования	0.6
- минимальная яркость источника	10 мКд
- расстояние между источником и приемником *	150 – 700 мм
- масса*	50 кг
- габаритные размеры*	1500×500×300 мм <sup>3</sup>

\* Значения могут изменяться в соответствии с требованиями заказчика

## Измеряемые величины:

- спектральная плотность энергетической освещенности ( $\text{Вт}/\text{см}^2 \times \text{нм}$ )
- световой поток (люмены)
- коррелированная цветовая температура (К)
- координаты цветности (CIE x, y; u', v')

## Преимущества:

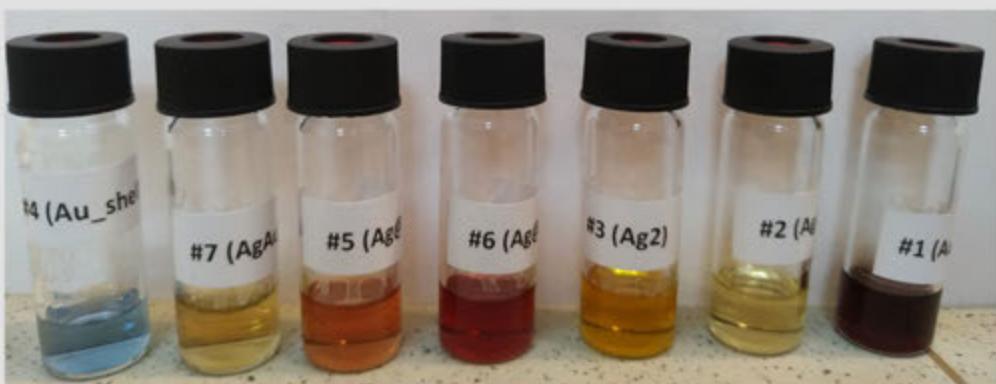
- регистрация параметров излучения во всей передней полусфере исследуемого источника
- полностью автоматизированный процесс измерения
- возможность исследования поляризационных характеристик источников излучения
- настройка оборудования, параметров измерения и обработка результатов в одной программе
- возможность экспорта измеренных данных для последующей обработки в стандартных математических программах

Комплекс обеспечивает полную автоматизацию измерений и представление результатов в виде трехмерных диаграмм в выбранных единицах измерения, а также в виде сечений в зависимости от угла и длины волны.

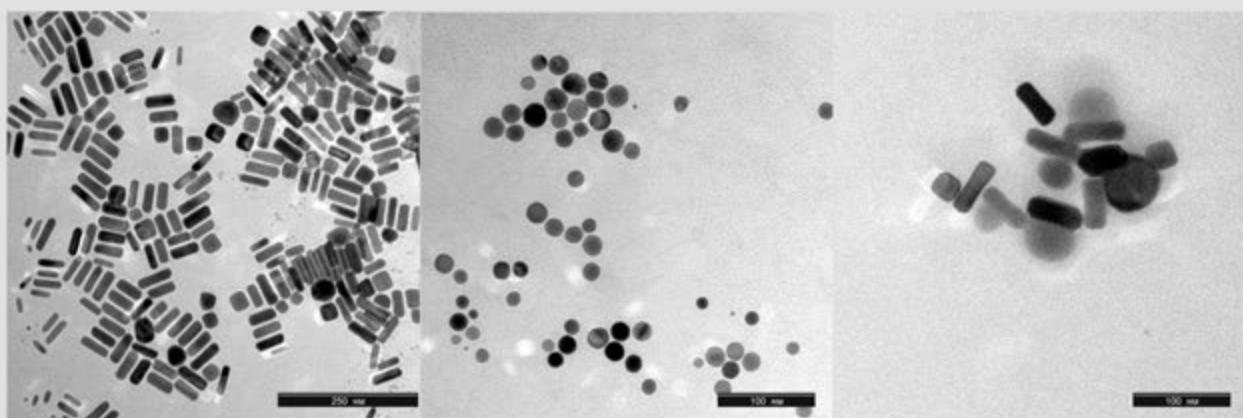
## Плазмонные наноструктуры

Наночастицы металлов благодаря их уникальным свойствам находят широкое применение в различных областях науки и техники (катализ, оптоэлектроника, медицина и т.д.). Они способны выступать в качестве наноантенн, усиливающих внешнее электромагнитное поле и влияющих на излучательные свойства находящихся рядом молекул или квантовых точек. Это открывает широкие возможности для управления оптическими свойствами материалов за счет выбора размера, формы и пространственной организации находящихся в контакте с ними металлических наночастиц. В центре «Нанофотоника» разработаны методики синтеза наночастиц золота и серебра различной морфологии в водных и неводных растворах, включая наночастицы типа «ядро-оболочка», а также пленки на их основе.

### Примеры наночастиц золота и серебра, получаемых в центре:



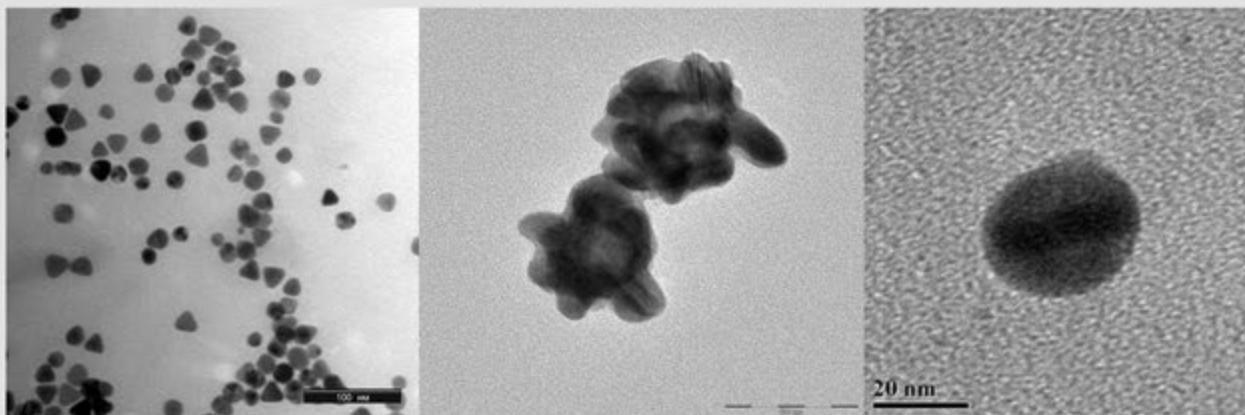
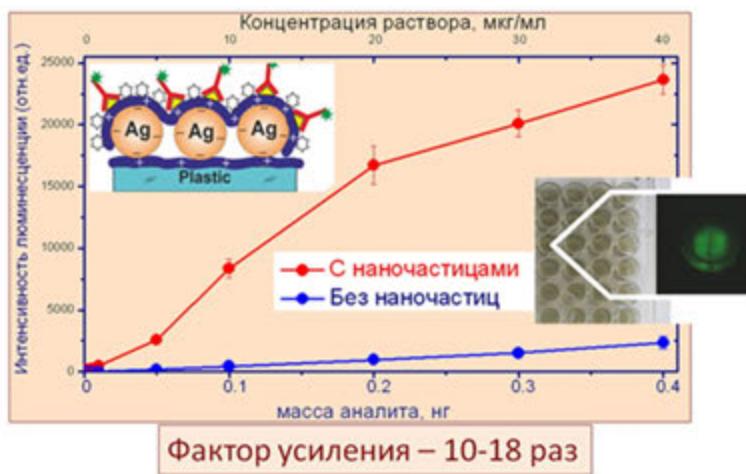
**Наночастицы и пленки металлов**, получаемые в центре, успешно применяются для реализации плазмонного усиления комбинационного рассеяния света. Этот эффект используется для обнаружения ультрамалых количеств вещества, в том числе для определения состава красочных слоев произведений живописи и обнаружения токсичных веществ в воде. В частности, сотрудниками центра предложен новый подход для определения концентрации бромат-анионов в воде, который по чувствительности на 1-2 порядка лучше по сравнению с другими методами и при этом не требует использования дорогостоящей аппаратуры. Экспериментально продемонстрирована



эффективность коллоидных пленок серебра, методика получения которых разработана в центре, в качестве эффективных сенсорных подложек, используемых для усиления сигнала комбинационного рассеяния при мониторинге реакции между бромат-анионами и молекулами красителя. Разработанный метод может стать основой недорогих сенсоров бромат-анионов, что особенно актуально для анализа состава полученной путём охлаждения питьевой воды.

Металлические наночастицы используются **для улучшения характеристик светоизлучающих структур**, например светодиодов или сенсоров на основе люминесцирующих материалов. В частности, разработана лабораторная методика получения нанотекстурированных металлизированных подложек **для повышения чувствительности флуоресцентного детектирования меченых антител человека**. Отличительной особенностью методики является использование функционализированной поверхности полимера для создания плотной упаковки наночастиц металла на поверхности. Методика апробирована для антител к альфа-фетопротеину и простат-специфичному антигену. Результаты важны для разработки компактных сенсоров, позволяющих детектировать онкомаркеры в крови и других биожидкостях человека с целью ранней диагностики раковых заболеваний.

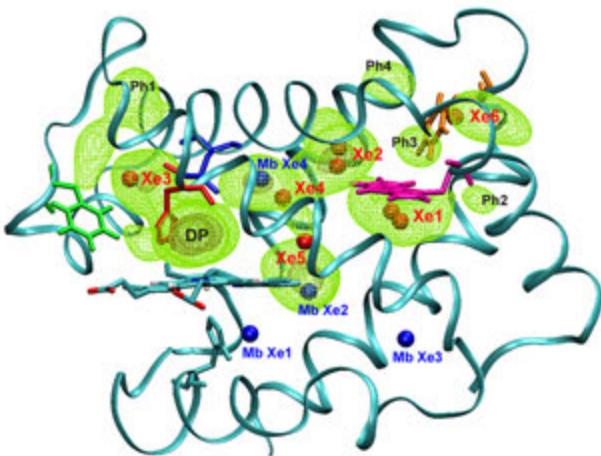
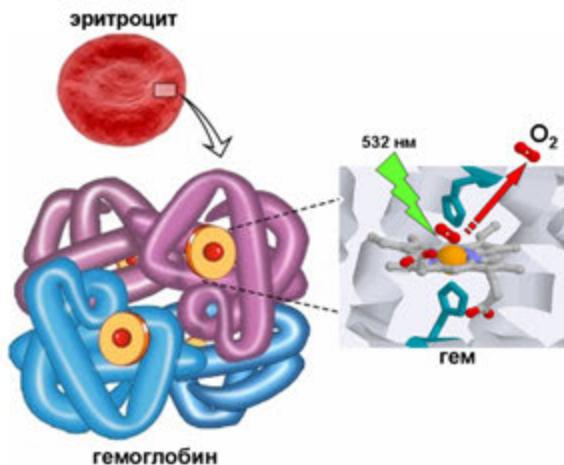
#### **Зависимость интенсивности флуоресценции от количества антител к простат-специфичному антигену без наночастиц серебра и с наночастицами:**



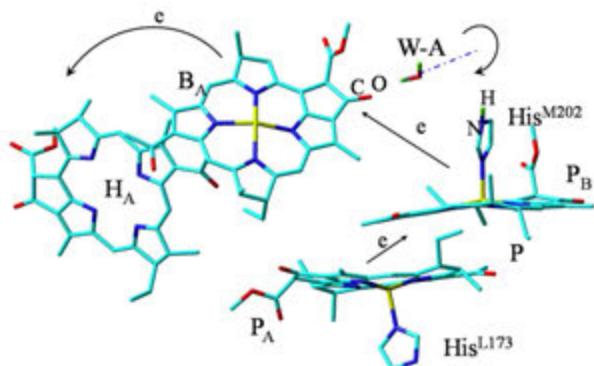
# ЦЕНТР «ФОТОНИКА И ФОТОХИМИЯ МОЛЕКУЛ»

## Научные направления:

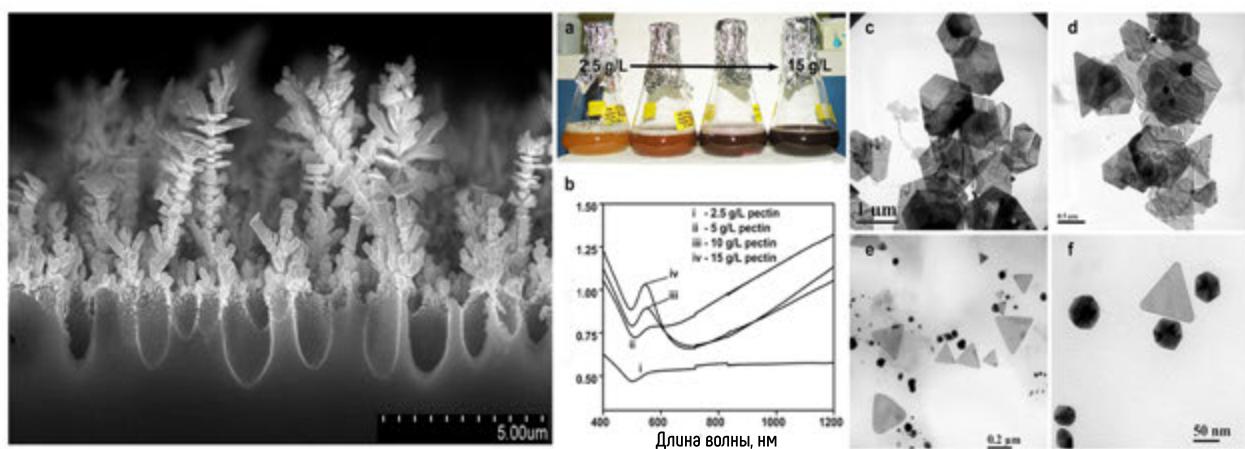
- установление связей между структурой, функцией и динамикой гембелков методами время-разрешенной спектроскопии, квантовой механики и молекулярной динамики



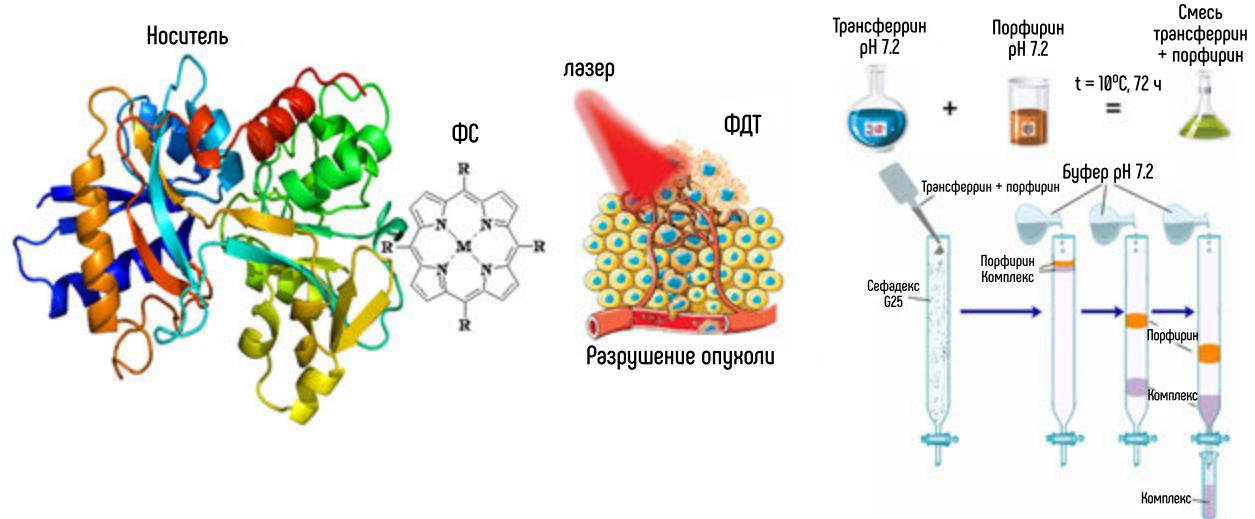
- исследование спектроскопических и физико-химических свойств тетрапиррольных молекул методами квантовой химии, выяснение детальных механизмов фотохимических процессов в сложных молекулярных системах естественного и искусственного происхождения



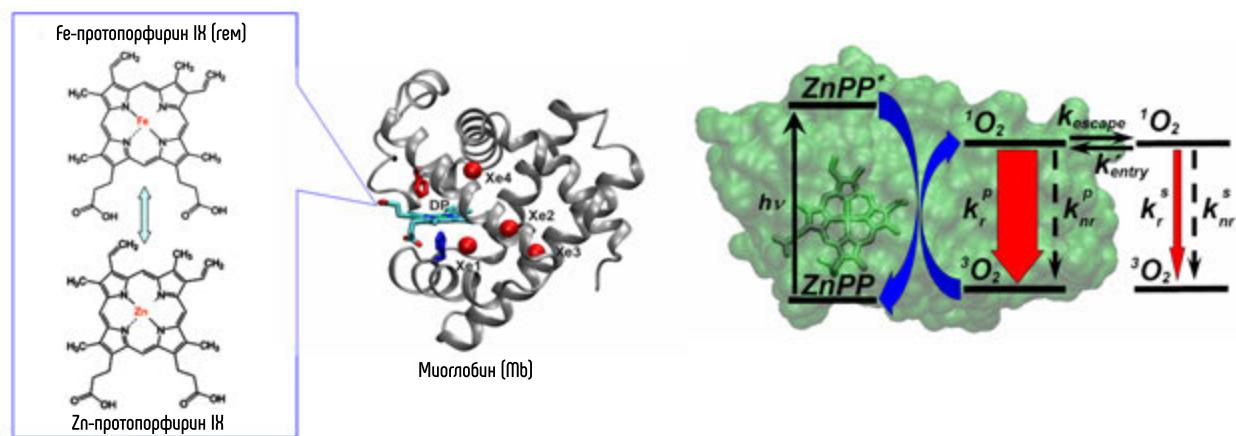
- разработка и оптимизация методик формирования плазмоных наноструктур, перспективных для использования в качестве активных компонентов сенсоров биомедицинского и аналитического назначения, работающих на эффекте гигантского комбинационного рассеяния



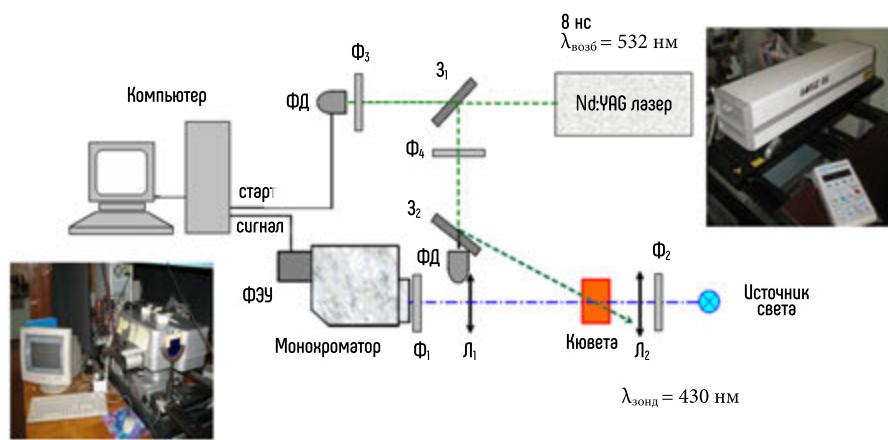
- исследование комплексов тетрапиррольных соединений с различными системами доставки с целью создания фотосенсиблизаторов (ФС) нового поколения для фотодинамической терапии (ФДТ) онкологических заболеваний



- Изучение механизмов и динамики реакций синглетного и других химически активных форм кислорода в модельных биологических системах



- лазерная кинетическая абсорбционная спектроскопия биообъектов с наносекундным временным разрешением

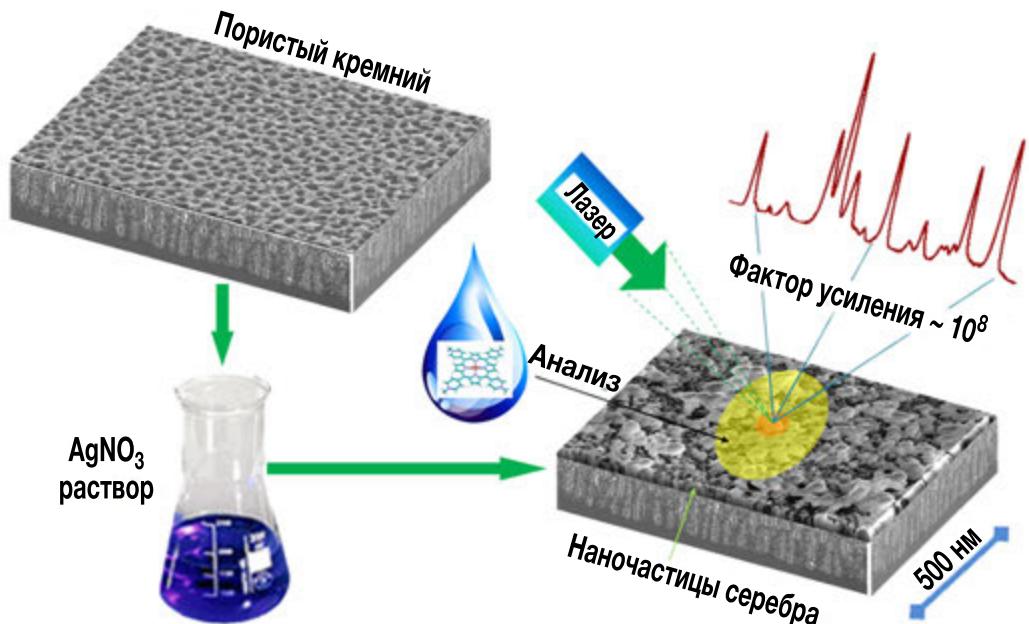


# ГКР-активные субстраты

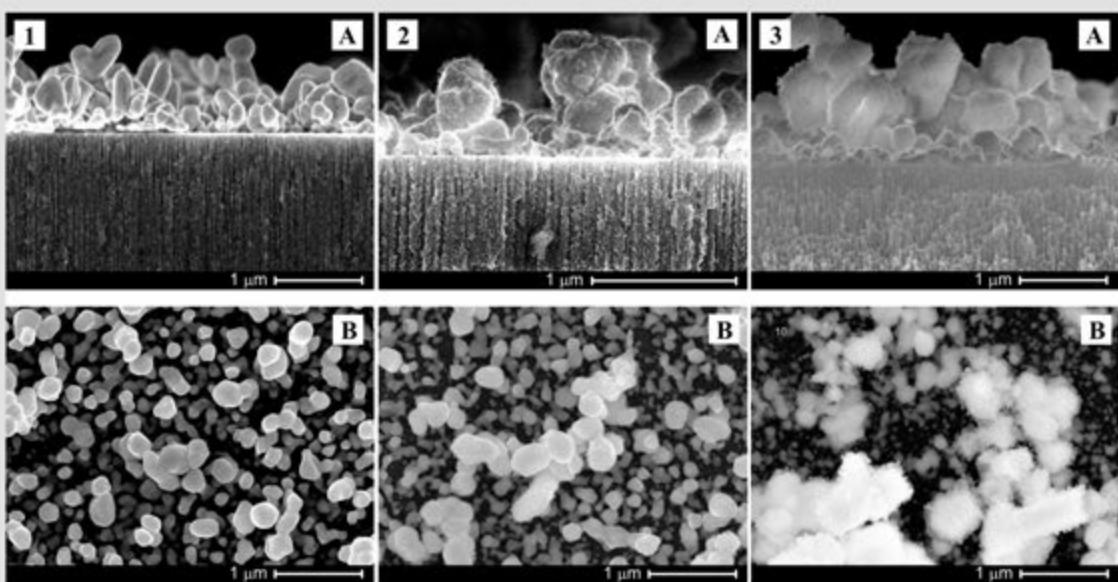
Разработана методика иммерсионного осаждения серебра на поверхность пористого кремния для использования в качестве активных субстратов для спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР)

## Основные характеристики ГКР-активных субстратов:

- фактор усиления ГКР  $2 \times 10^8$
- предел детектирования родамина 6G  $\sim 10 \text{ пМ}$
- однородность - отклонение сигнала ГКР по поверхности не более 10%
- сохраняют чувствительность при хранении в течение месяца



## Формирование наноструктур серебра на поверхности пористого кремния



Толщина пористого слоя: 1 - 5 мкм, 2 - 10 мкм, 3 - 20 мкм. А - поперечное сечение, В - вид сверху.

# Метод определения тяжелых металлов

Разработан высокочувствительный метод детектирования тяжелых металлов. Метод основан на анализе интенсивности линий ГКР комплекса металла с органическим реагентом. Показано, что с помощью данного подхода можно определять абсолютное содержание сурьмы на уровне 10 пикограмм, что на порядок превышает чувствительность стандартных фотометрических способов для данного типа металла.

## Достоинство метода:

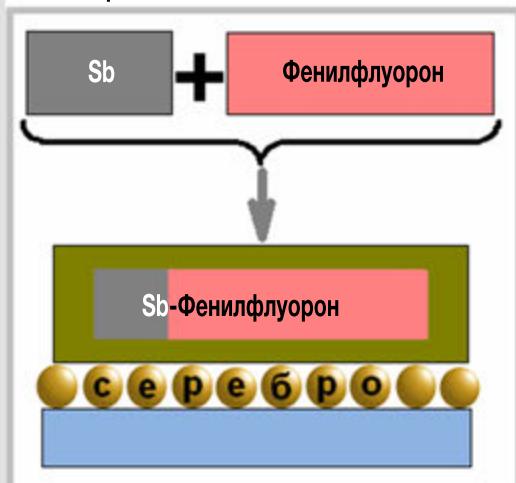
- селективность, которая достигается за счет характеристичности колебательного спектра, а также резонансных условий возбуждения

Метод может использоваться для экологического мониторинга - детектирования и контроля содержания ряда тяжёлых металлов в питьевой, сточной воде и промышленных отходах, а также для других аналитических применений.

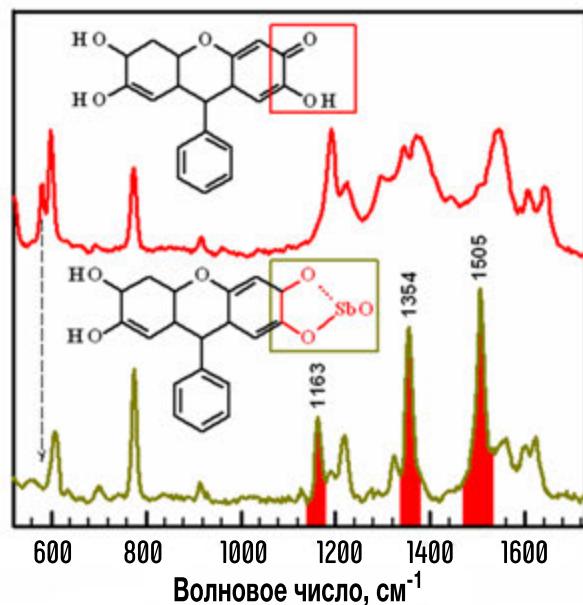


## Предел детектирования Sb:

Объём пробы: 10 пикограмм  
10 мкл



Интенсивность, отн. ед.



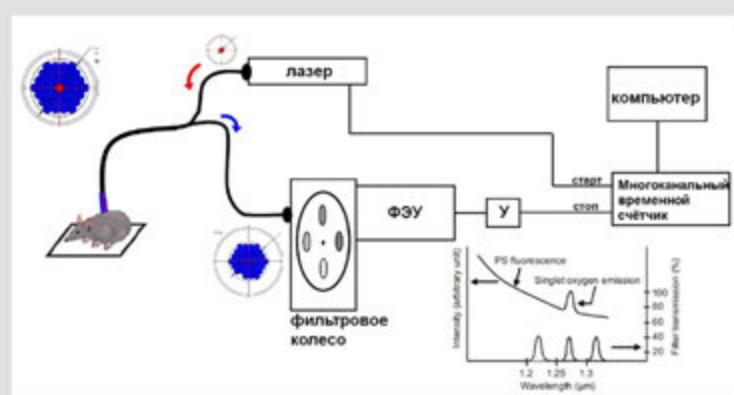
## Лазерный дозиметр синглетного кислорода в биологических тканях

Дозиметр предназначен для изучения фотохимических процессов *in vivo*, протекающих в биологических тканях и культурах клеток при проведении фотодинамической терапии. Контроль за спектрально-кинетическими характеристиками свечения синглетного кислорода позволяет отслеживать появление и исчезновение кислорода в среде и дает возможность оптимизировать световой режим фотодинамической терапии, как в экспериментальной, так и в практической фотомедицине. По своим параметрам данный прибор не имеет аналогов в Республике Беларусь.



### Технические характеристики:

- длина волны излучения	532, 667 нм
- длины волн регистрации	1200, 1250, 1275, 1300, 1350 нм
- минимально детектируемый квантовый выход свечения синглетного кислорода	$10^{-9}$ отн. ед.
- режим работы	импульсный, 1 – 10 кГц
- питание	~ 100...240 В / 50-60 Гц
- потребляемая мощность	не более 1.0 кВт
- площадь стола для размещения блоков облучения образцов и регистрации светового излучения	$1 \times 0.8 \text{ м}^2$
- масса без учета управляющей ПЭВМ	не более 30 кг



## Терапевтический лазер для фотодинамической терапии «ФДТ-лазер»

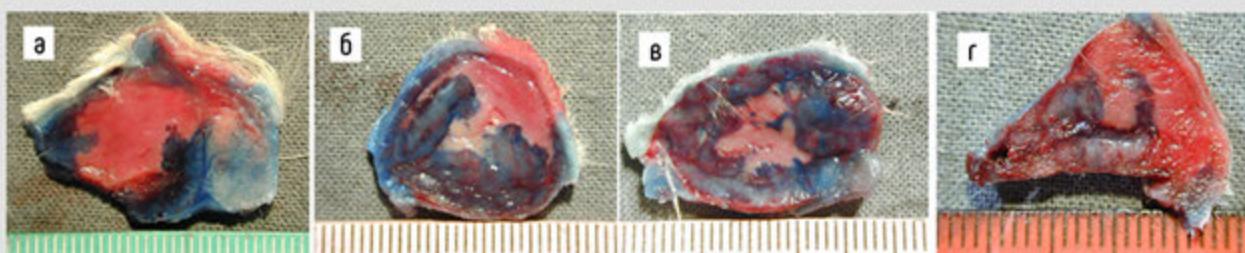
Коллективами Института физики и ЧПУП ЛЭМТ (объединение БелОМО) разработан терапевтический лазер для фотодинамической терапии «ФДТ-лазер», который зарегистрирован и разрешен к применению в медицинской практике на территории Республики Беларусь. Опыт работы с «ФДТ-лазером» в РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова показал его высокую эффективность при лечении опухолей различной локализации.



### Технические характеристики:

- длина волны излучения	660 ± 5 нм
- диапазон регулировки мощности излучения на дистальном конце световода	0.1 – 2.5 Вт
- диапазон регулировки времени воздействия	10 – 3600 с
- дискретность регулировки мощности излучения	0.1 Вт
- режим работы	непрерывный

**Гистологические срезы опухолевого узла лимфосаркомы Плисса крыс  
после проведения ФДТ (а - г - различные режимы ФДТ)**



Красным обозначена зона некроза опухолевой ткани, синим - неповрежденная ткань.

# ЦЕНТР «ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЛАЗЕРЫ»

## Основными направлениями исследований являются:

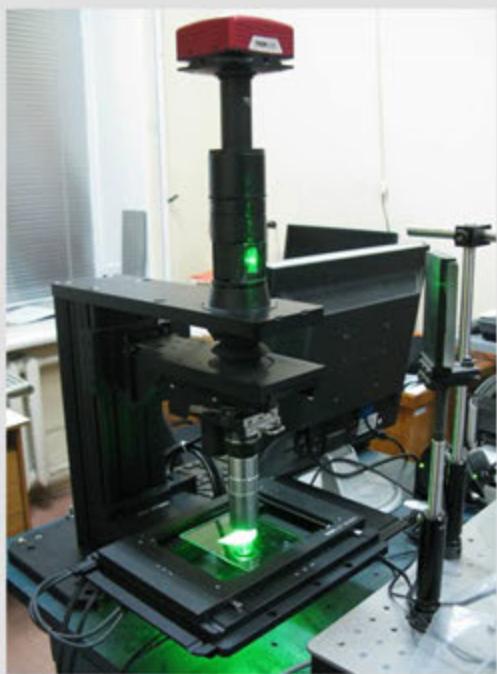
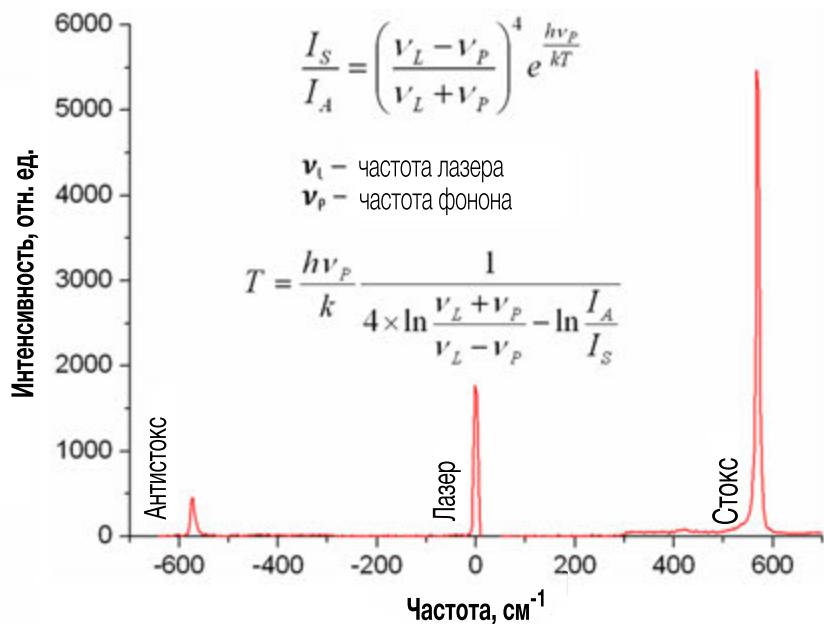
- молекулярно пучковая эпитаксия гетероструктур III-нитридов (AlInGaN) для создания силовых и СВЧ транзисторов, УФ фотоприемников, светодиодов, лазерных диодов, датчиков и солнечных элементов
- оптическая, люминесцентная, лазерная и электрическая характеристика полупроводниковых слоев, квантовых ям и квантовых точек, наноколон и наноматериалов
- исследования и характеристика лазерных сред, светодиодов, полупроводниковых лазеров с оптической, инжекционной и электронной накачкой, в том числе микропорошковых лазеров со случайной генерацией, солнечных элементов и люминофоров
- разработка оптических и электрических методов контроля температурных полей СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) и других полупроводниковых структур с целью определения их свойств и надежности
- создание микролазеров с диодной накачкой на основе гетероструктур с квантовыми ямами и квантовыми точками (синий-оранжевый диапазон спектра), а также лазеров со случайной генерацией, в том числе «белых»
- создание новых приборов на основе светодиодов и лазеров для оптической радиометрии, фотополимеризации, дистанционного определения температуры, контроля полупроводниковых пластин, гетероструктур и солнечных элементов



# Установка контроля температурных полей СВЧ МИС методом лазерной рамановской спектроскопии

Установка предназначена для картографирования температурных полей с использованием конфокальной микроскопии комбинационного рассеяния лазерного излучения в работающих полупроводниковых приборных структурах СВЧ МИС с субмикронным пространственным разрешением. Определение локальной температуры производится по отношению интенсивностей стоковой и антистоковой компонент рассеянного лазерного излучения, что позволяет определять локальную температуру без привязки к конкретному материалу или соотношению элементов в твердых растворах. Это позволяет также определять локальные температуры в светодиодах и на выходных зеркалах лазерных диодов.

## Рамановский спектр GaN при комнатной температуре



## Технические характеристики установки:

- |                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| - максимальное разрешение (XYZ)    | 1 мкм                 |
| - точность определения температуры | $\pm 2^\circ\text{C}$ |
| - диапазон регистрации температур  | 0 ÷ 500°C             |

Локальная температура определяется по отношению интенсивностей компонент рассеянного света, что позволяет исключить вклад изменяющихся механических напряжений в гетероструктуре, возникающих за счет неравномерного нагрева, в величину температуры, определяемой по спектральному сдвигу стоковой компоненты (стандартный метод).

# Технология молекулярно-пучковой эпитаксии нитридных гетероструктур

## Материал нового поколения:

**Нитрид галия (GaN)** обладает рядом преимуществ перед традиционными

Si и GaAs, таких как:

- способность работать при высоких температурах
- стойкость к воздействию радиации
- более высокая эффективность приборов
- высокая плотность и подвижность электронного газа в гетероструктурах

AlGaN/GaN позволяют изготавливать на их основе мощные СВЧ и силовые транзисторы



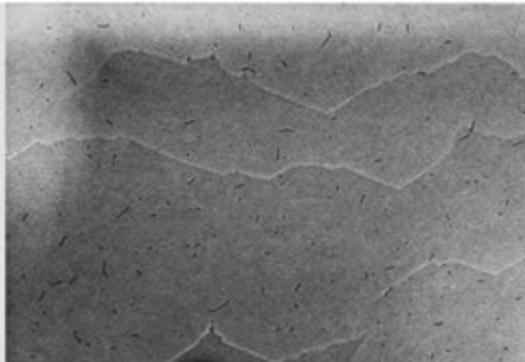
TOP - 10  
НАН Беларусь  
2019 г.



## Применения нитрида галия (GaN):

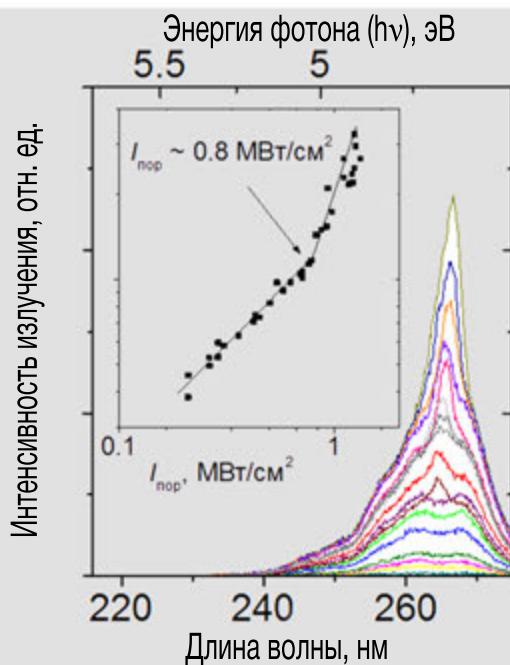
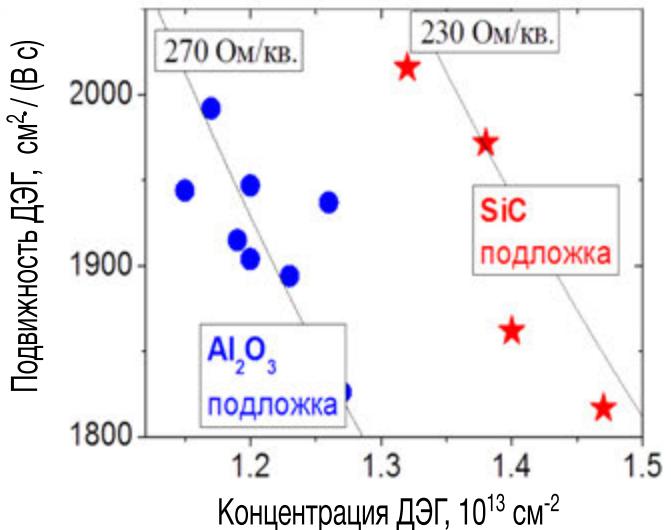
- в инверторах, блоках питания, драйверах электрических приборов нового покаления с улучшенными массо-габаритными характеристиками, работающих в экстремальных условиях, в том числе в космосе
- для создания СВЧ-усилителей и СВЧ-трактов систем связи
- в активных фазированных антенных решетках (АФАР)

## Достигнутые результаты:



Разработана технология роста слоев AlN в режиме step-flow, обеспечивающая шероховатость  $\sim 0.7$  нм.

Разработанная технология роста позволила создать транзисторные гетероструктуры с двумерным электронным газом на подложках сапфира и карбида кремния с характеристиками, соответствующими лучшим мировым аналогам.



Выращены слои AlGaN, показавшие стимулированное излучение в УФ области спектра с относительно низкими значениями порога.

На основе нитридов могут быть реализованы практически все известные коммуникационные, сенсорные и микромеханические технологии.

# Материалы для солнечных элементов нового поколения

Обнаружено стимулированное и лазерное излучение в многокомпонентных прямозонных полупроводниках и установлен механизм излучательной рекомбинации, приводящей к их возникновению в пленочных структурах, предназначенных для создания солнечных элементов нового поколения.

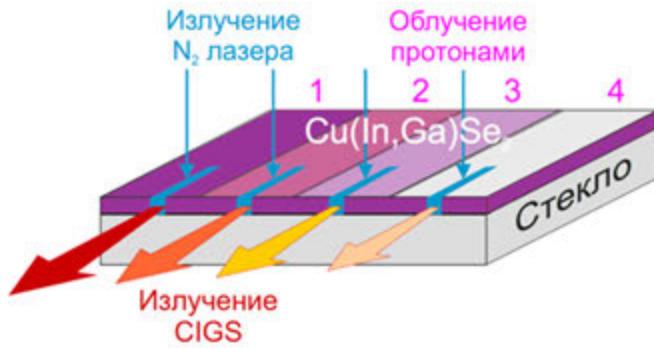
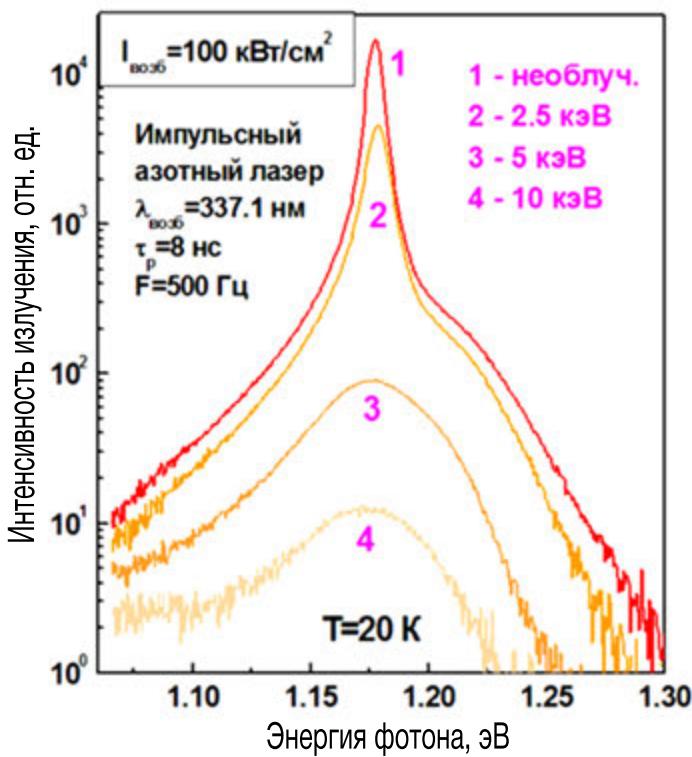
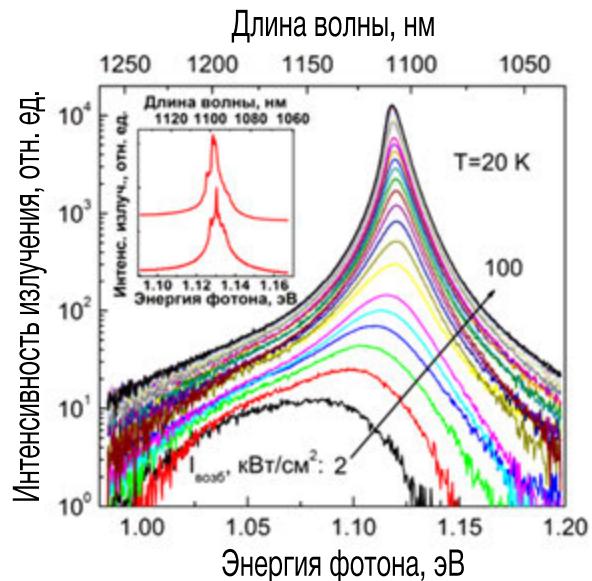


Схема возбуждения плёнки CIGS излучением азотного лазера для получения стимулированного и лазерного излучения.

Установлен механизм излучательной рекомбинации – рекомбинация в электронно-дырочной плазме.



Облучение протонами ухудшает качество структуры тонких плёнок из-за образования дефектов и это приводит к исчезновению стимулированного излучения.

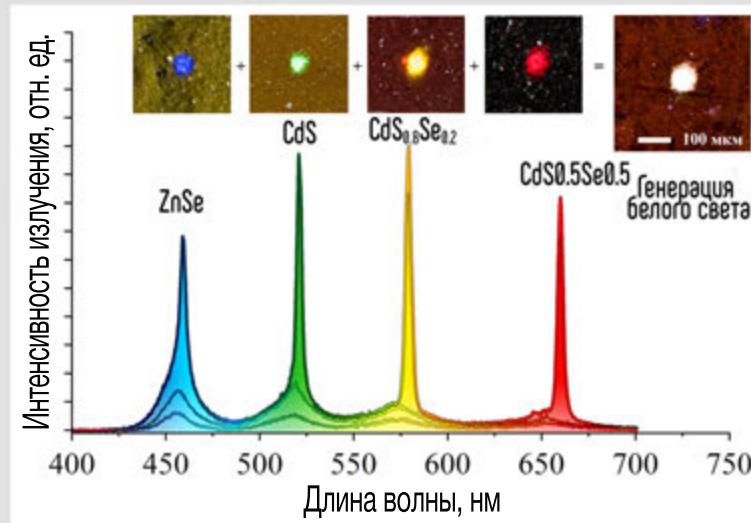
## «Белый» лазер с активной средой из смеси микропорошков полупроводников $A^{II}B^{VI}$

Впервые разработан и создан **лазер с генерацией «белого» излучения** на смеси микропорошков полупроводников  $A^{II}B^{VI}$  с общей формулой  $Zn_xCd_{1-x}SySe_{1-y}$ . Генерация излучения достигнута одновременно на четырех длинах волн в активной среде из смеси плотно упакованных микропорошков ZnSe (460 нм), CdS (520 нм),  $CdS_{0.8}Se_{0.2}$  (580 нм) и  $CdS_{0.5}Se_{0.5}$  (660 нм) при пороговой плотности мощности возбуждения около 1 МВт/см<sup>2</sup> импульсным излучением на 390 нм. Лазерный эффект происходит в результате возникновения контуров случайной обратной связи («random lasing») в каждом типе рассеивающих кристаллитов. Излучение на четырех длинах волн перемешивается и в результате формируется «белое» излучение, распространяющееся во всем телесном угле без заданного направления.

### Ключевыми особенностями «белого» лазера являются:

- простота конструкции (так как отсутствуют сложные зеркальные резонаторы)
- низкая пространственная когерентность (излучение распространяется во всем телесном угле без заданного направления)
- возможность нанесения активной среды на поверхности любой формы

Эти особенности открывают такие области применения данного типа лазеров, как визуализация изображения в системах телевидения, обработки и передачи информации, в качестве биосенсоров в медицине (исследование микроповреждений в человеческой ткани и кости), в системах обнаружения «свой-чужой», в технологиях освещения.



Выше представлены спектры излучения активной среды белого лазера из смеси микропорошков полупроводников  $A^{II}B^{VI}$  при оптической накачке излучением Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-лазера на 390 нм в интервале от 0.5 МВт/см<sup>2</sup> до 4 МВт/см<sup>2</sup> и комнатной температуре и изображения генерирующих лазерное излучение активных областей.

# ЦЕНТР «ФИЗИКА ПЛАЗМЫ»

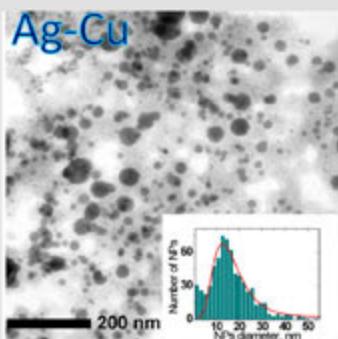
В настоящее время научные исследования сотрудников центра связаны с развитием новых приоритетных направлений физики плазмы и плазменных технологий, направленных на расширение сферы применения плазмы в народном хозяйстве, освоения новых технологических процессов и производств, что является весьма актуальным для инновационного развития Республики Беларусь.

## Основными направлениями исследований являются:

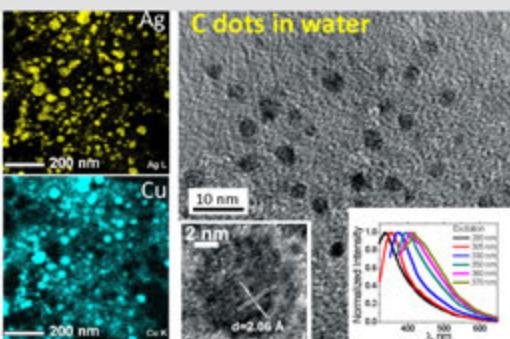
- плазмоактивированный синтез наноразмерных структур при лазерной абляции и электрических разрядах в жидкостях, лазерно-индуцированная модификация формируемых наночастиц
- разработка методов лазерного микроанализа для количественного определения элементного состава материалов, в том числе, 2D-, 3D-распределения компонентов
- физика и химия плазменных образований, индуцируемых лазерным излучением и электрическими разрядами в жидкостях и газах
- нелинейные явления в плазме при ее взаимодействии с электромагнитными волнами; неустойчивости плазмы, разработка методов повышения эффективности нагрева плазмы электромагнитным излучением и создания быстро-переключаемых плазменных периодических полосовых структур для управления распространением мощного СВЧ излучения
- физика тлеющих разрядов атмосферного давления и разработка на их основе новых плазменных методов и устройств для конверсии углеводородов, плазменной медицины и СВЧ электроники
- взаимодействие потоков плазмы и лазерного излучения с материалами. Плазмодинамика приповерхностных оптических и комбинированных разрядов, разработка новых методов и средств диагностики импульсной плазмы и контроля технологических процессов
- физические основы лазерно-плазменных и плазменно-пылевых технологий (лазерно-плазменные двигатели, методы и устройства обработки материалов и модификации их физико-химических свойств, синтезnanoструктурированных тонкопленочных покрытий и гетероструктур)
- разработка методов комбинированной плазменной, акустической и электромагнитной модификации микротерогенных материалов и биологических объектов

## Производимые наночастицы:

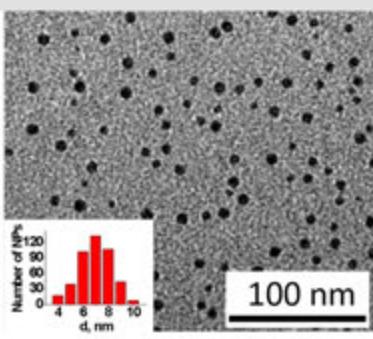
Наночастицы сплава Ag-Cu



Углеродные квантовые точки



Наночастицы карбида вольфрама



# Генератор воздушной плазменной струи

**Плазменная медицина** - это новое направление в науке, сочетающее в себе физику и химию плазмы с биологией и медициной.

Разработанное устройство генерирует воздушную плазменную струю, содержащую азотные реактивные частицы и имеющую бактерицидное действие на клетки различного уровня организации и заживляющее действие при обработке инфицированных ран.



## Технические характеристики:

- ток разряда 10-50 мА
- напряжение источника 3,5 кВ
- потребляемая мощность 50 Вт
- основной рабочий газ\* воздух  
(от 2 до 7 л/мин)

\* Есть возможность подключения другого газа.

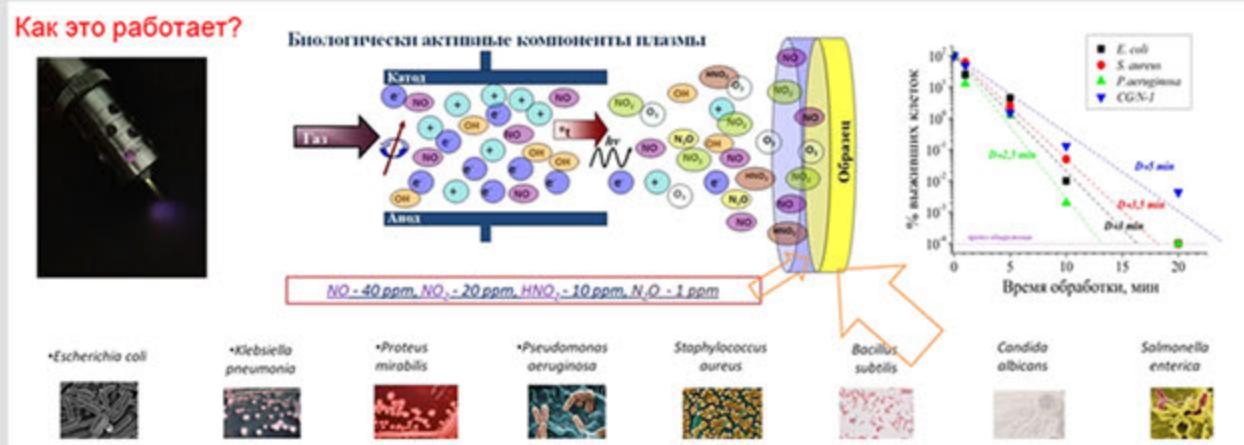
## Преимущества плазменной медицины:

- контроль, стимулирование и катализация биологических процессов в живых тканях
- обеспечение терапевтического эффекта при стерилизации и заживлении ран
- остановка кровотечений при лечении ряда кожных заболеваний, в том числе ожогов
- возможность применения для термочувствительных поверхностей, включая кожу и слизистые оболочки

## Особенности:

- использование тлеющего разряда на постоянном токе при атмосферном давлении в воздухе
- применение в качестве бактерицидных факторов химически и биологически активных молекул: (NO, N<sub>2</sub>O, HNO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)
- не разрушает ДНК

## Как это работает?

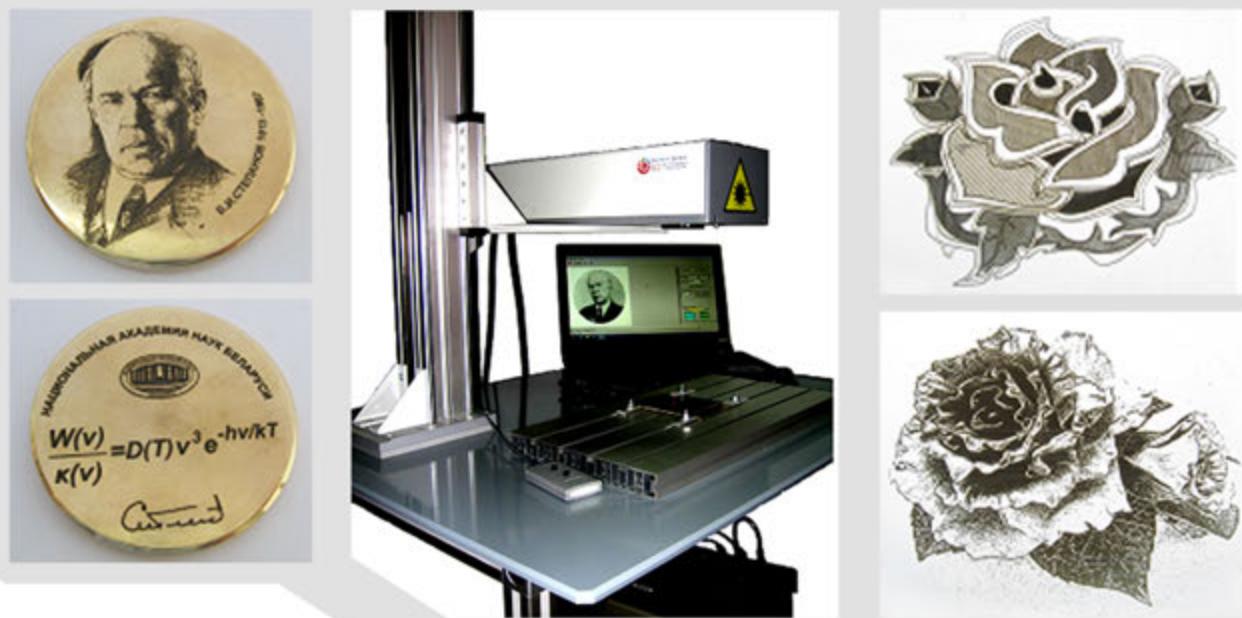


## Высокоскоростной лазерный маркер

Экспериментально показана повышенная эффективность высокочастотного импульсно-периодического лазерного воздействия ( $5 < f < 150$  кГц) для гравировки и резки широкого круга материалов при атмосферном давлении воздуха.

Разработаны и запатентованы пьезоэлектрические и электромеханические дефлекторы света и лазерный маркер, обеспечивающие многократное повышение скорости лазерной маркировки.

На основе выполненных разработок с использованием волоконного иттербийового лазера ИЛИ-0.5-100-20-10 разработан, изготовлен и испытан прототип высокоскоростного лазерного маркера, обеспечивающего прецизионную маркировку изделий из широкого круга материалов, резку тонкой металлической фольги, полупроводниковых и керамических пластин.

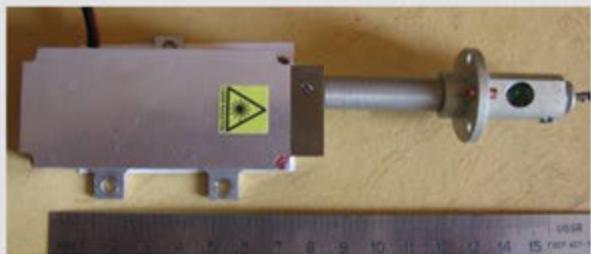


### Технические характеристики:

- тип используемого лазера	импульсно-периодический иттербийовый волоконный лазер с диодной накачкой
- длина волны лазерного излучения	$1060 \pm 10$ нм
- частота следования импульсов	20 – 100 кГц
- длительность импульсов	$100 \pm 10$ нс
- энергия в импульсе	0.5 мДж
- средняя выходная мощность	10 / 20 / 50 Вт
- ресурс лазера	> 30 000 часов
- энергопотребление	120 / 150 / 240 Вт
- поле маркировки	$60 \times 60 / 110 \times 110 / 175 \times 175$ мм <sup>2</sup>
- скорость перемещения луча	< 8 м/с
- вес маркера	35 кг
- размеры маркера	$640 \times 500 \times 600$ мм <sup>3</sup>

## Лазерно-плазменный микродвигатель

Предложена новая концепция лазерно-плазменного микродвигателя с твердым и жидким топливом для коррекции орбиты микроспутников нового поколения на основе исследований лазерного воздействия на широкий спектр материалов.



**Тяга в единичном импульсе**  
 $4,7 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \pm 5\%$

**Удельный импульс**  
 $4\,000 \text{ с} \pm 5\%$



**Тяга в единичном импульсе**  
 $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \pm 5\%$

**Удельный импульс**  
 $4\,587 \text{ с} \pm 5\%$

Разработаны, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы лазерно-оптических и целевых блоков лазерно-плазменных микродвигателей с мини-лазерами Nd:YAG с диодной накачкой (длина волны 1.064 мкм) и на основе эрбииевого лазера (длина волны 1.54 мкм).

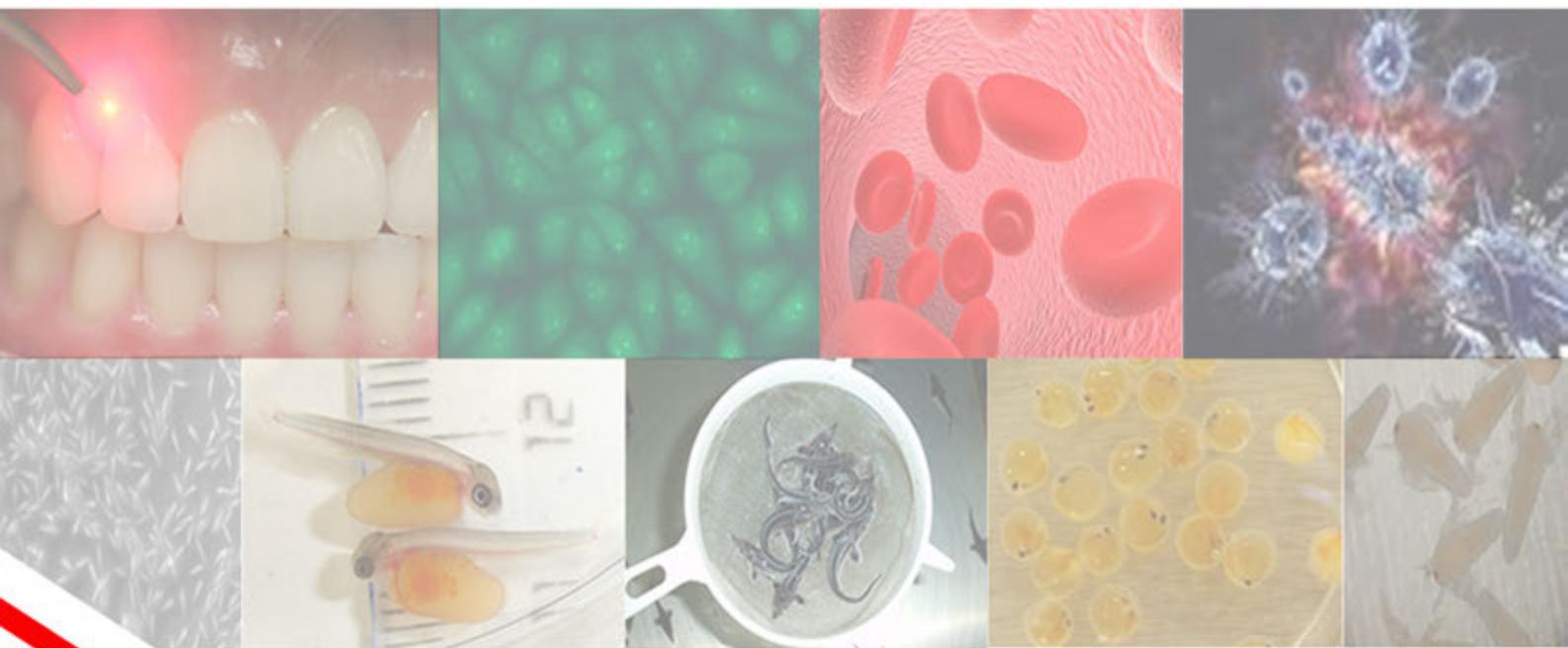


Лазерно-плазменный микродвигатель малой тяги рассматривается в настоящее время в качестве перспективного средства для коррекции ориентации в пространствеnano- (массой от 1 до 10 кг) и микроспутников (массой от 10 до 100 кг). Управлять такими космическими аппаратами можно лишь малыми единичными импульсами тяги, которые практически недоступны для стационарных электрореактивных двигателей.

# ЦЕНТР «ЛАЗЕРНО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ И БИОЛОГИИ»

## Основными направлениями деятельности являются:

- исследование взаимодействия когерентного лазерного излучения с неоднородными средами
- математическое моделирование процессов термомеханического воздействия импульсного лазерного излучения на гетерогенные биологические структуры. Совершенствование на этой основе лазерных медицинских технологий в офтальмологии и микрохирургии
- изучение фотофизических и фотохимических процессов, определяющих антибиотическое действие оптического излучения
- лазерно-оптические технологии в микробиологической промышленности (в микробном синтезе) и их аппаратурное обеспечение
- лазерно-оптические технологии в агроиндустрии (ихтиология, репродуктивных биотехнологиях, птицеводстве, растениеводстве) и их аппаратурное обеспечение
- исследование механизмов регуляторного действия оптического излучения на биологические системы различного уровня организации; разработка методов усиления регуляторного действия света
- фотоника биологически важных молекул
- лазерная флуоресцентная кинетическая спектроскопия (с пикосекундным разрешением) биомолекул и новых флуоресцентных зондов
- методы диагностики патологических состояний организма человека и неинвазивного мониторинга концентрации метаболитов с помощью флуоресцентной спектроскопии и спектроскопии диффузно-отраженного света
- аппаратура для низкоинтенсивной лазерной и антибиотической фотодинамической терапии, для диагностики и фототерапии желтухи новорожденных
- биосовместимые светочувствительные и активные среды для голографии, биофотоники и сенсорных применений
- перестраиваемые источники возбуждения сверхкороткой длительности для лазерной флуоресцентной спектроскопии и микроскопии биологических объектов



## Аппарат фототерапевтический «LOTOS»

Аппарат фототерапевтический «Lotos» предназначен для эффективного лечения инфекционно-воспалительных заболеваний новорожденных детей и детей первых месяцев жизни.

Благодаря широким функциональным возможностям аппарат «LOTOS» может использоваться для лечения заболеваний различной этиологии трудно поддающихся медикаментозному лечению путем воздействия на очаги поражения наружной локализации размером 50x50 мм (при использовании модуля лазерного). Для труднодоступных очагов поражения (ушные раковины и др.) можно использовать выносные излучатели.



### Технические характеристики:

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| - тип лазера  | непрерывный диодный лазер             |
| - длина волны лазерного излучения   | $\lambda_1 = 405 \text{ нм}$          |
|   | $\lambda_2 = 650 \text{ нм}$          |
| - максимальная плотность мощности лазерного излучения<br>(для лазерного модуля) | 10 мВт/см <sup>2</sup> (регулируемая) |
| - максимальная мощность лазерного излучения<br>(для выносных излучателей)       | 50 мВт (регулируемая)                 |
| - режимы работы   | ручной, таймер                        |
| - напряжение питания  | 220 В / 50 Гц                         |

### Отличительными особенностями аппарата фототерапевтического «LOTOS» являются:

- возможность использования методов антибактериальной фотодинамической терапии с использованием фотосенсибилизаторов, применяемых в клинической практике, а также метода фоторегуляторной терапии
- возможность значительного усиления биологической активности и терапевтического действия излучения за счет комбинированного воздействия на очаги поражения поляризованным излучением фиолетовой и красной областей спектра при проведении фоторегуляторной терапии
- возможность дискретного регулирования параметров лазерного излучения

# Аппарат фототерапевтический «МАЛЫШ»



Аппарат предназначен для лечения физиологической (неинфекционной) гипербилирубинемии новорожденных.

Заболевание обусловлено избыточным накоплением в крови, а также подкожно-жировой клетчатке токсичного желчного пигмента – билирубина, придающего коже характерный золотисто-желтый цвет. В случае непринятия экстренных мер наличие высокой концентрации билирубина в организме младенца может сказаться на его физическом и нервно-психическом развитии, а также может быть непосредственной

причиной смерти. Согласно данным Американской академии педиатрии желтуха наблюдается примерно у 50–60% доношенных новорожденных и у 80% преждевременно родившихся младенцев. При этом фототерапия является наиболее эффективным и широко распространенным способом снижения уровня билирубина в крови новорожденных. В среднем не менее 10 % от числа всех новорожденных детей подвергается фототерапии.

**Аппарат фототерапевтический «Малыш» создан на основе современной светодиодной элементной базы и не имеет аналогов по эффективности лечения желтухи (гипербилирубинемии) у новорожденных детей. Аппарат награжден золотой медалью на международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» в Санкт-Петербурге.**

## Принцип действия:

Лечение гипербилирубинемии (желтухи) у новорождённых основано на воздействии на поверхность тела ребёнка светом сине-зелёной области спектра, соответствующего полосе поглощения билирубина. Терапевтический эффект достигается за счет фотопревращения билирубина в фотоизомеры, скорость экскреции которых более высокая, чем у билирубина.

## Повышение (по сравнению с аналогами) эффективности фототерапии желтухи достигается за счет:

- выбора спектрального диапазона, в котором экранирующее действие гемоглобина ниже
- более высокой плотности мощности излучения на поверхности тела ребёнка
- возможности регулировки интенсивности воздействующего излучения в зависимости от тяжести протекания заболевания
- равномерности распределения плотности мощности излучения по поверхности тела ребёнка
- повышения процентного содержания среди продуктов фотоизомеризации билирубина вещества, характеризующегося максимальной скоростью экскреции



# Аппарат диагностический «АНКУБ Спектр»

Аппарат диагностический «АНКУБ Спектр» предназначен для неинвазивного (без забора крови) определения уровня билирубина и мониторинга лечения любого типа желтухи у новорожденных детей. Аппарат может использоваться в отделениях для новорожденных, палатах интенсивной терапии, или непосредственно в кабинете врача.



## Преимущества:

- проведение неинвазивных измерений без боли
- минимальные затраты на проведение анализа
- быстрое получение результата
- простота эксплуатации
- возможность подключения к информационной системе для сохранения результатов измерения билирубина для последующего анализа

Аппарат можно использовать до, во время и после фототерапии. Измерения билирубина проводятся на легкодоступных местах (лоб, грудина), поэтому специальной подготовки новорожденного не требуется.

Благодаря отсутствию необходимости забора крови риск травмы или инфицирования сведен к минимуму.

Прибор отличается малым весом и обладает отличной эргономикой. Кроме того, он оснащен встроенным аккумулятором, обеспечивающим длительную работу.

## Технические характеристики:

- назначение	до, во время фототерапии и после фототерапии
- диапазон измерения	0 – 400 мкмоль/л
- гестационный возраст	27 – 42 недели
- постнатальный возраст	0 – 20 дней
- вес пациента	950 – 5000 г
- масса аппарата	250 г



## Принцип работы:

Предлагаемый прибор представляет собой малогабаритный фотометр отражательного типа. Оптическое излучение направляется на кожу новорожденного. По мере прохождения через кожу, часть излучения поглощается основными хромофорами кожи – меланином, коллагеном, гемоглобином и билирубином. Другая часть – рассеивается и не учитывается. Оставшаяся часть излучения, которая отражается обратно в аппарат, анализируется микропроцессором и по составу отраженного излучения вычисляется концентрация билирубина. Оптическая схема анализатора с одновременным измерением на нескольких длинах волн позволяет компенсировать влияние гемоглобина кожи на показания прибора. Фактически измеряется степень желтизны подкожных тканей ребенка на фоне окраски, обусловленной присутствием гемоглобина крови.

# Аппарат лазерный терапевтический «Родник-ИФ»

АЛТ «Родник-ИФ» – инновационный аппарат для проведения процедур внутривенного лазерного облучения крови (ВЛОК).

## Преимущества аппарата «Родник-ИФ»:

- возможность воздействия на кровь оптимальным моно- или комбинированным (несколько спектральных диапазонов) лазерным излучением в синей, красной и ближней инфракрасной областях спектра
- полная автоматизация процесса проведения фототерапевтической процедуры (в случае воздействия комбинированным излучением переключение источников происходит автоматически и без дополнительной юстировки световода для ВЛОК)
- возможность плавной регулировки параметров лазерного излучения в зависимости от нозологии заболевания
- встроенная система контроля параметров лазерного излучения
- простая и интуитивно понятная система управления
- возможность дистанционного управления работой аппарата
- уникальный дизайн, эргonomичность и надежность
- защита от несанкционированного изменения режима работы во время проведения процедуры

## Технические характеристики:

- тип источника излучения	непрерывный диодный лазер
- класс лазерной опасности	II
- длины волн лазерного излучения	$\lambda_1 = 405 \text{ нм}$ (синяя область спектра) $\lambda_2 = 650 \text{ нм}$ (красная область спектра) $\lambda_3 = 780 \text{ нм}$ (ближняя ИК область спектра)
- максимальная мощность излучения в непрерывном режиме на выходе магистрального световода	10 – 15 мВт
- диапазон дискретной регулировки мощности излучения	1 мВт
- режим задания параметров процедуры	автоматический
- время экспозиции	от 1 с до 60 мин., с шагом 1 с



**Применение АЛТ «Родник-ИФ» позволяет существенно сократить сроки лечения, увеличить время ремиссии, стабилизировать течение заболеваний, а также значительно уменьшить количество осложнений. АЛТ «Родник-ИФ» унифицирован с другими физиотерапевтическими аппаратами, что дает возможность применять комбинированные методики лечения и значительно повысить терапевтическую эффективность.**

Световодные насадки для ВЛОК терапии



# Аппарат лазерный терапевтический «Прометей-ИФ»

Аппарат предназначен для лечения широкого круга заболеваний различного генеза и обеспечивает реализацию всех фототерапевтических технологий, применяемых в настоящее время в лазерной терапии:

- воздействие на патологические очаги наружной и внутриполостной локализации
- чрескожное (транскutanное) лазерное и магнитолазерное воздействие на кровь
- внутривенное (внутрисосудистое) лазерное воздействие на кровь (ВЛОК-терапия) с использованием стерильных одноразовых световодов
- воздействие на биологически активные точки и зоны (зоны Захарына-Геда)

## Технические характеристики:



- тип источников излучения	непрерывные и импульсные диодные лазеры
- длина волны лазерного излучения:	
- непрерывного	$\lambda_1 = 405 \text{ нм}$
- импульсного	$\lambda_2 = 650 \text{ нм}$
- максимальная мощность непрерывного лазерного излучения	$\lambda_3 = 808 \text{ нм}$
- максимальная мощность единичного импульса	$\lambda_4 = 905 \text{ нм}$
- максимальная частота следования импульсов	50 мВт
- длительность импульсов лазерного излучения	50 Вт
	10 кГц
	100 нс

## Аппарат обладает повышенной терапевтической эффективностью, реализуемой за счет:

- выбора оптимальной длины волны лазерного излучения в зависимости от нозологии и локализации патологического очага
- комбинированной лазерной терапии излучением различного спектрального диапазона
- сочетанной магнитолазерной терапии с обеспечением максимальной напряженности магнитного поля в зоне действия лазерного излучения
- модуляции оптического излучения
- бактерицидного действия излучения синей области спектра, соответствующей полосе поглощения эндогенных фотосенсибилизаторов, локализованных в микробных клетках



## В аппарате обеспечивается возможность:

- использования световодных насадок с различной диаграммой направленности оптического излучения и доступности полых органов
- автоматического контроля параметров воздействующего излучения во время проведения процедуры лазерной терапии
- регулирования мощности воздействующего излучения, включая мощность импульсного излучения
- измерения и автоматической калибровки мощности излучения лазерных источников по интегрированному в аппарат датчику

# Технологии для антимикробной фотодинамической терапии

Разработаны инновационные методы преодоления резистентности патогенной микрофлоры, заключающиеся в использовании антимикробной фотодинамической терапии различных заболеваний.



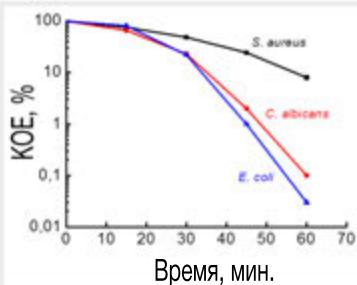
**ТОП - 10  
НАН Беларусь  
2018 г.**



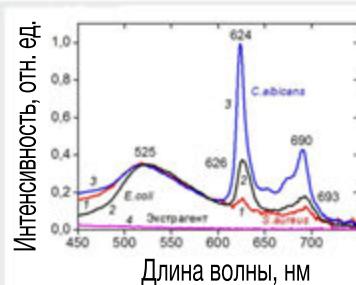
Разработаны и утверждены в Министерстве здравоохранения Республики Беларусь 4 инструкции на методы:

- фототерапии инфекционно-воспалительных заболеваний новорожденных
- фотодинамической терапии пациентов с трофическими язвами и гноино-воспалительными заболеваниями кожи и мягких тканей, различных форм цервикальной эктопии
- хронического периодонтита, лазерные методы дезинфекции корневых каналов зубов, фотодинамической терапии хеликобактер-ассоциированных гастродуоденальных заболеваний

Разработанные эффективные методы антимикробной фотодинамической терапии основаны на активации эндогенных фотосенсибилизаторов порфириновой и флавиновой природы, локализованных в патогенной микрофлоре, а также на использовании в качестве фотосенсибилизаторов лекарственных препаратов, разрешенных к применению в клинической практике и обладающих фотодинамическим действием.



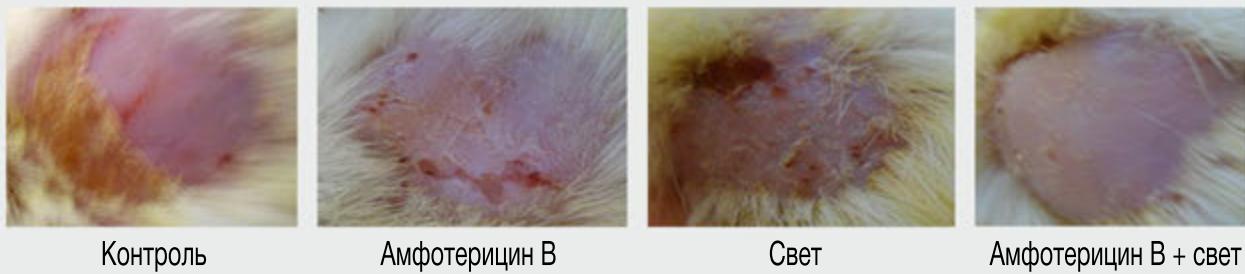
Кинетика фотонактивации различных патогенов лазерным излучением фиолетовой области спектра без внесения фотосенсибилизирующих сред



Спектры флуоресценции эфирного экстракта *S. aureus* (1), *E. coli* (2) и *C. albicans* (3) и экстрагента (смесь этилацетат/уксусная кислота) (4),  $\lambda_{ex} = 400$  нм

Достоинством первого метода является отсутствие необходимости использования фотосенсибилизаторов и практически одинаковая фоточувствительность как грамположительных, так и грамотрицательных бактериальных клеток и грибов; достоинством второго метода является доступность лекарственных средств, используемых в качестве фотосенсибилизаторов.

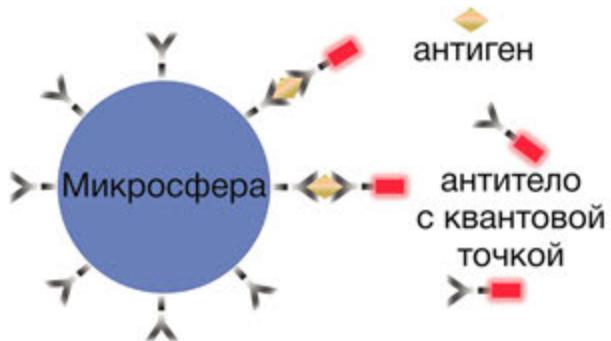
## Фотодинамическая терапия дерматитов у животных (на примере крысы)



# Экспрессный автоматизированный лазерный анализатор вирусов

Анализатор позволяет проводить одновременную диагностику образцов, взятых у нескольких человек, на наличие различных вирусов.

Реализуемый в приборе метод основан на регистрации разрешенной во времени флуоресценции полупроводниковых наночастиц (квантовых точек) в составе комплексов антиген-антитело на поверхности полимерных микросфер при их двухфотонном возбуждении.

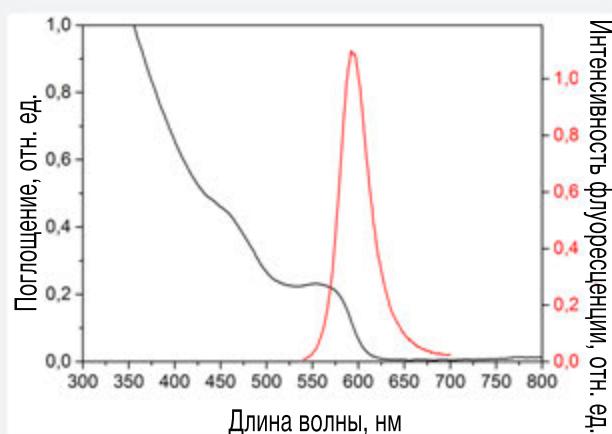
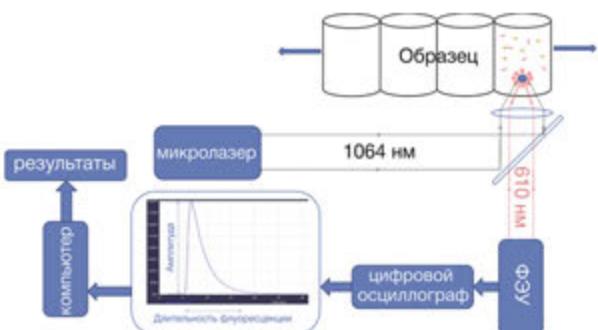


## Технические характеристики:

- |  |             |
|--|-------------|
| - время диагностики                                    | 1 – 10 мин. |
| - количество одновременно тестируемых образцов         | до 5        |
| - количество одновременно обнаруживаемых типов вирусов | до 10       |
| - минимальная концентрация вирусных антигенов в пробе  | до 10 фмоль |
| - энергия импульса микро-лазера                        | до 200 мкДж |
| - частота повторения                                   | до 1 кГц    |
| - длительность импульса (FWHM)                         | до 0.6 нс   |

## Преимущества использования квантовых точек:

- узкий спектр излучения
- возможность варьирования максимума длины волн испускания путем изменения размера квантовой точки
- высокий квантовый выход люминесценции
- широкая полоса спектра поглощения



## Отличительные особенности и преимущества:

- позволяет врачам правильно диагностировать заболевание за один прием пациента и назначать наиболее эффективную терапию
- использование таких устройств в медицинских учреждений значительно снижает риски возникновения вирусных эпидемий

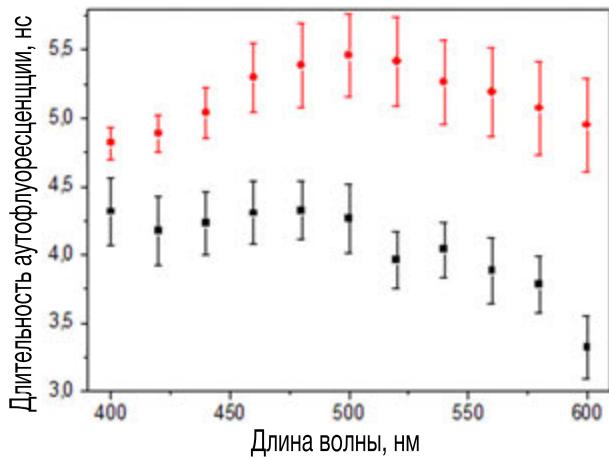
# Лазерная установка и технология для диагностики раковых тканей

## Аппарат предназначен для неинвазивной экспресс-диагностики раковых тканей.

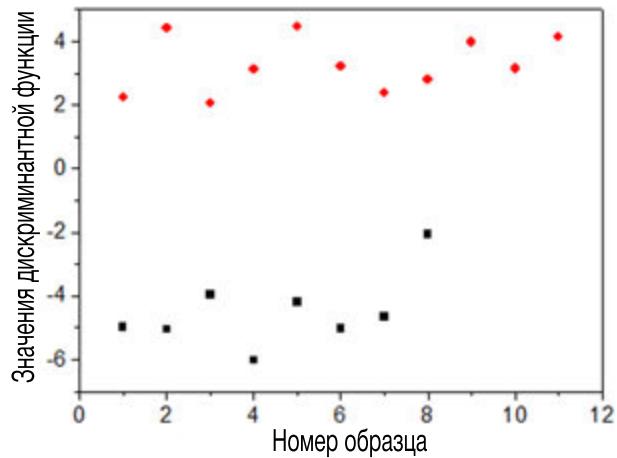
Основной принцип работы прибора заключается в регистрации разрешенных во времени флуоресцентных характеристик собственной флуоресценции тканей и спектров диффузно отраженного света с последующей обработкой полученных данных методами многомерного статистического анализа.

### Отличительные особенности:

- применимость к различным типам тканей человека
- возможность диагностики тканей с большим содержанием кровеносных сосудов
- нет необходимости в предварительных инъекциях препаратов для проведения диагностики
- небольшие размеры
- высокая скорость сканирования образца и постановки диагноза
- оптоволоконный зонд для подвода излучения к образцу



Зависимость средней длительности аутофлуоресценции от длины волны регистрации для: здоровой ткани гипофиза (●) и аденоны гипофиза (■)



Здоровая ткань гипофиза (●) аденона гипофиза (■)  
Чувствительность и специфичность определения аденоны гипофиза с помощью дискриминантного анализа – 100%.

### Преимущества устройства:

- позволяет значительно сократить временные и экономические затраты на патолого-анатомическую диагностику рака
- позволяет (в некоторых случаях) отказаться от повторного хирургического вмешательства
- повышает вероятность положительного результата процесса лечения

# Разработка технологии и аппаратуры для лазерной низкотемпературной (кавитационной) микрохирургии

Разрабатываются методы лазерной низкотемпературной (кавитационной) фотодеструкции биотканей для проведения особо деликатных хирургических операций, требующих интактности анатомических элементов, расположенных на периферии операционной зоны.

## Потенциальные области применения:

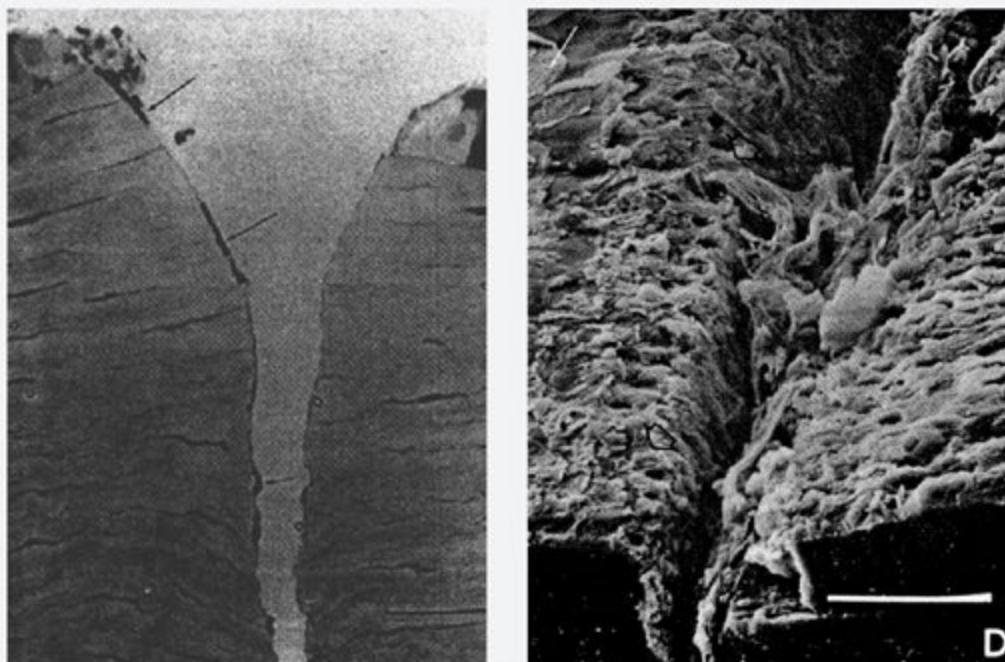
- лазерная нейрохирургия
- лазерная офтальмология
- лазерная отоларингология



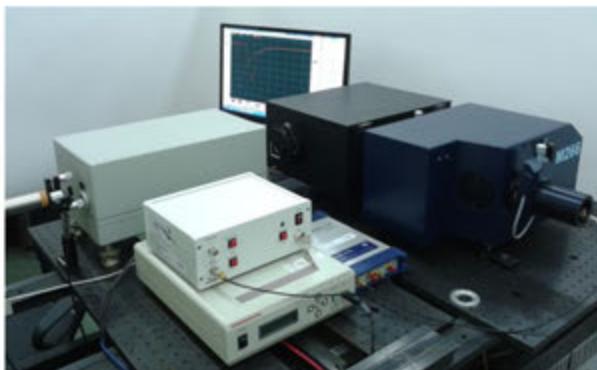
В основе метода лежит эффект генерации акустической (ударной) волны при воздействии на биоткани коротких лазерных импульсов. Если мощность излучения превышает пороговое значение, в отрицательной фазе волны создаются условия для формирования кавитационных полостей. Механическое разрушение структуры тканей реализуется при уровнях нагрева, не превышающих единицы градуса. Таким образом, термическое повреждение тканей (коагуляция) на границах операционной зоны исключается.

**Главной особенностью технологии является предельно низкое, неповреждающее тепловое воздействие излучения на ткани при проведении операций.**

Микрофото зоны лазерного рассечения роговицы глаза ( $D = 100$  мкм)



# Пикосекундный лазерный спектрофлуориметр для высокочувствительного анализа в физике, биологии и медицине

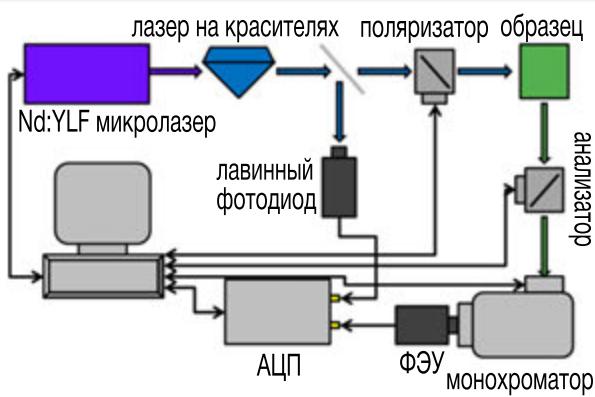


## Режимы работы спектрофлуориметра:

- измерение кинетик затухания флуоресценции и времени жизни возбужденного состояния
- измерение спектров флуоресценции с временным разрешением
- измерение кинетик анизотропии испускания
- измерение спектров поляризации и анизотропии флуоресценции с временным разрешением

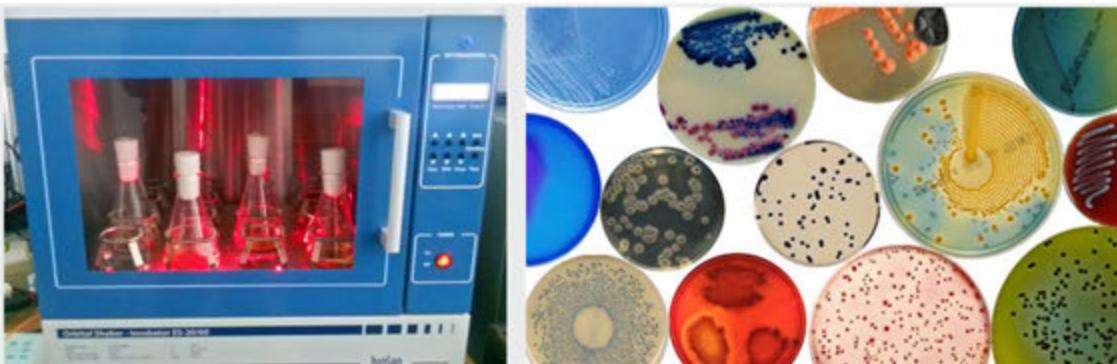
## Технические характеристики:

- диапазон длин волн возбуждения	
Nd:YLF микролазер	349 и 523 нм
РОС-лазер на красителях	380 – 750 нм
- длительность импульса возбуждения	
Nd:YLF микролазер	300 пс
РОС-лазер на красителях	50 – 250 пс
- диапазон длин волн регистрации	350 – 800 нм
- временное разрешение	50 пс
- чувствительность регистрации	$10^{-9}$ моль/л



# Оптические технологии для микробиологической промышленности

Разработаны методы стимуляции роста и метаболической активности промышленно ценных микроорганизмов (включая дрожжевые культуры) с использованием оптического излучения лазеров и светодиодов для оптимизации технологий получения биопрепаратов. Основными преимуществами данного подхода над использованием специфических биостимуляторов являются низкие материальные затраты и универсальность, так как источники излучения не энергоемки, долговечны и могут применяться для стимуляции микроорганизмов различной таксономической принадлежности.



# Малогабаритный лазерный источник перестраиваемых по спектру субнаносекундных и пикосекундных импульсов излучения «WIPER TOPAZ-PS»

Лазер на красителях с распределенной обратной связью (РОС) «WIPER TOPAZ-PS» предназначен для получения перестраиваемого по спектру узкополосного излучения субнаносекундной и пикосекундной длительности при возбуждении излучением 2-й и 3-й гармоник субнаносекундных твердотельных Nd:YAG-, Nd:LSB- и Nd:YLF-микролазеров с диодной накачкой.

## Области применения:

- спектроскопия
- фотохимия
- биомедицина
- биофизика
- физика твердого тела
- физика полупроводников
- оптоэлектроника
- экология

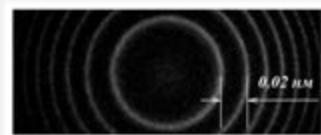
## Технические характеристики:

- длины волн возбуждения	349, 354, 523.5 и 532 нм
- область перестройки	370 – 900 нм
- ширина линии	0.01 – 0.03 нм
- КПД генерации	до 50 %
- длительность импульсов	
в субнаносекундном режиме	0.2 – 0.5 нс
в пикосекундном режиме	20 – 70 пс
- стабильность энергии импульсов	0.6 – 3.0 %
- частота повторения импульсов	до 100 Гц
- габариты (Д × Ш × В)	39 × 22 × 22 см
- масса	6.8 кг

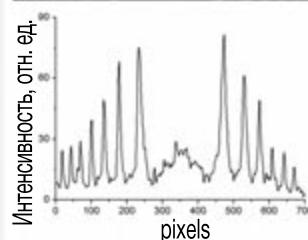
## Отличительные особенности:

От традиционных лазеров на красителях с аналогичными спектральными характеристиками РОС-лазер отличается:

- отсутствием внешнего резонатора и спектрально-селективных элементов
- значительно более высоким КПД преобразования излучения накачки в узкую линию генерации красителя
- более широким диапазоном перестройки без возбуждения фона усиленного спонтанного излучения
- возможностью прямого получения спектрально-ограниченных одиночных пикосекундных импульсов при нано-/субнаносекундном возбуждении
- возможностью работы в частотном режиме без прокачки активной среды через кювету
- простотой устройства, надежностью и удобством в эксплуатации

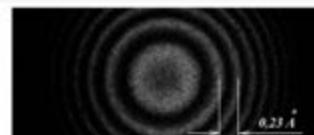


Временной профиль субнаносекундного импульса генерации

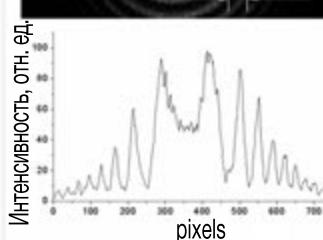


Спектр субнаносекундного импульса генерации

$$(\lambda = 570 \text{ нм}, \Delta\lambda_{0.5} = 0.0067 \text{ нм})$$



Временной профиль пикосекундного импульса генерации



Спектр пикосекундного импульса генерации

$$(\lambda = 570 \text{ нм}, \Delta\lambda_{0.5} = 0.0075 \text{ нм})$$

## Фотостимулятор для гидробионтов



Институтом физики НАН Беларусь совместно с Институтом рыбного хозяйства НАН Беларусь, а также кафедрой ихтиологии и рыбоводства Белорусской государственной сельскохозяйственной академии выполнены комплексные исследования закономерностей действия лазерного излучения и излучения светодиодных источников на эмбрионы и сперму ценных видов рыб (осетр, лосось, радужная форель), а также основной рыбы прудового рыбоводства – карпа.

Выполненные исследования послужили основой для создания инновационной аппаратуры на основе лазерных и светодиодных источников, интегрированных в технологическое оборудование, обычно применяемое в рыбоводческих хозяйствах для инкубации половых продуктов рыб (инкубационные емкости лоткового типа, инкубаторы Вейса).

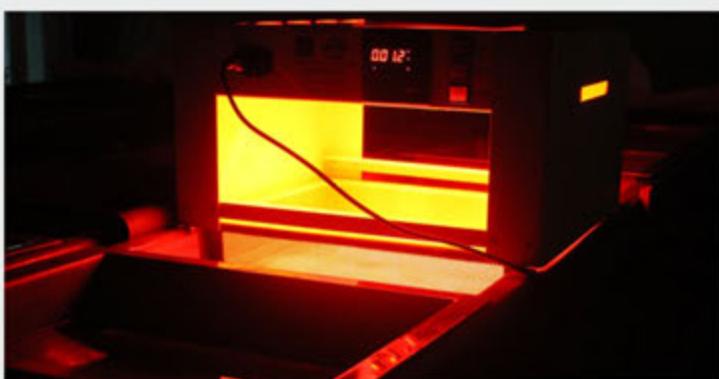
Фотостимулятор обеспечивает повышение в 1,3–1,4 раза воспроизводительной функции рыб, оплодотворяющей способности спермы и повышение выхода товарной продукции в условиях рыбоводных индустриальных комплексов. Отмечается также повышение устойчивости гидробионтов к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды (токсианты, повышенная или пониженная температура, недостаток кислорода).

### Технические характеристики:

- длина волны воздействующего излучения  $\lambda_1 = 650$  нм  
 $\lambda_2 = 780$  нм
- режим воздействия непрерывный (модулированный)
- таймер 1 с – 60 мин.
- совместим с технологическим оборудованием для инкубации половых продуктов рыб

Оригинальные способы стимулирующего воздействия на эмбрионы, сперму и производителей половых продуктов, а также технические решения, реализованные при создании аппаратуры, защищены патентами Республики Беларусь и Российской Федерации.

Фотостимулятор на базе аппарата лоткового типа



Фотостимулятор на базе аппарата Вейса



## Аппарат «Светофит»

### Области применения:

Аппарат «Светофит» предназначен для ростостимулирующего и фитооздоровительного (антибактериального) действия на семена овощных культур перед посадкой в условиях открытого и закрытого грунта.

### Технические характеристики:

- длина волны воздействующего излучения  $\lambda_1 = 405 \text{ нм}$   
 $\lambda_2 = 445 \text{ нм}$   
 $\lambda_3 = 650 \text{ нм}$
- режим воздействия непрерывный



### Отличительные особенности:

- аппарат обеспечивает реализацию антибактериального действия на локализованные в семенах патогены за счет возбуждения эндогенных фотосенсибилизаторов излучением синей области спектра
- воздействие излучением красной области оказывает стимулирующий эффект на прорастание семян и рост растений
- использование аппарата обеспечивает реализацию экологически чистых технологий при обработке семенного материала, позволяя отказаться от применения пестицидов и других химических реагентов

### Семена огурца (Струмок F1)



Контроль

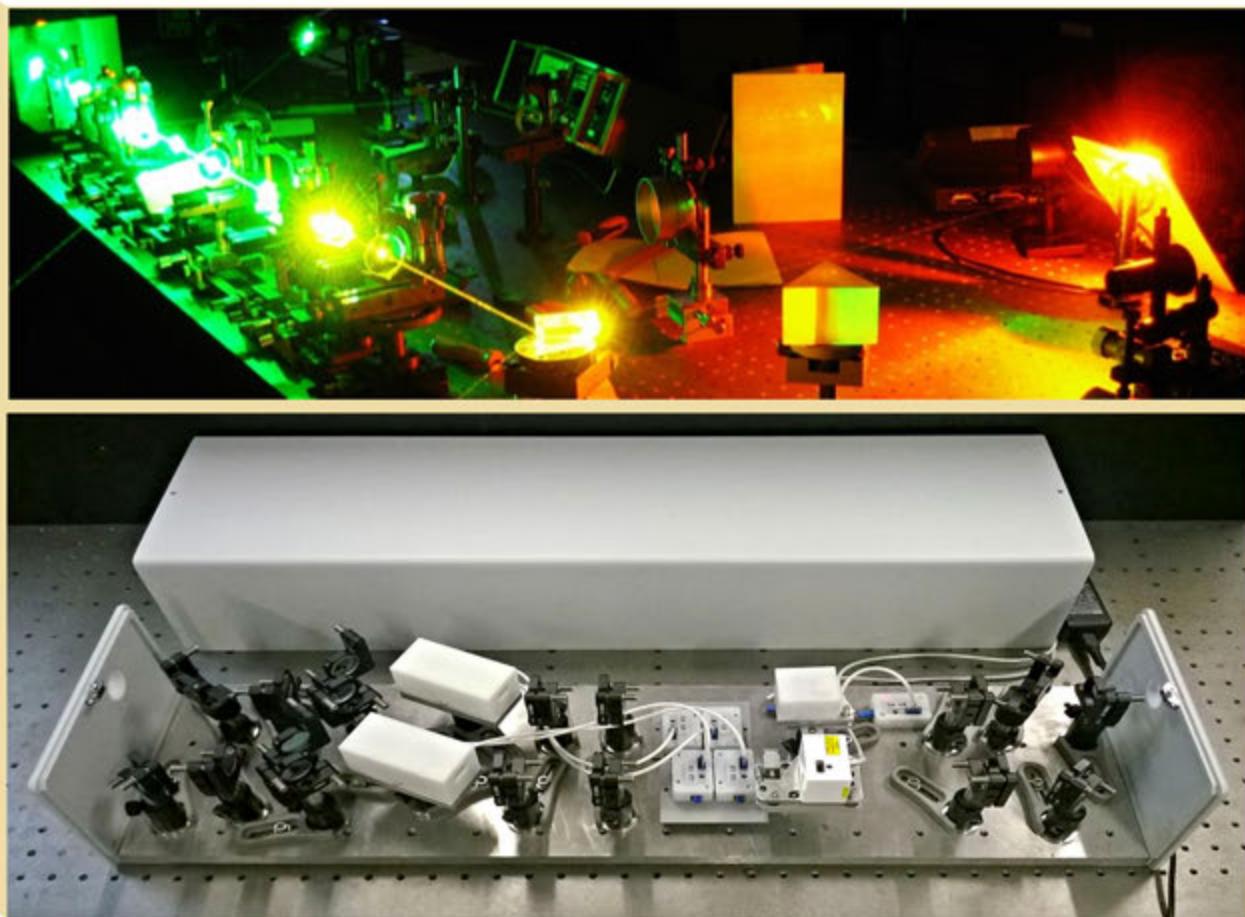


После воздействия аппаратом «Светофит»

# ЦЕНТР «НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА И АКТИВИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

## Основными направлениями исследований являются:

- разработка технологии синтеза новых оптических материалов, в том числе нано-оксидной стеклокерамики и гель-стекол
- исследование фотофизических и фотохимических процессов в кристаллических, керамических иnanoструктурированных средах, их спектрально-люминесцентных, нелинейно-оптических и генерационных свойств
- разработка новых неорганических стоксовых и антистоксовых люминофоров, а также люминесцирующих металлоорганических соединений
- исследование биологических сред и органических молекул методами люминесцентной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) и спектроскопии гигантского КР (ГКР)
- исследование динамики генерации твердотельных лазеров с продольной диодной накачкой
- исследование нелинейной оптики структурированных световых полей, а также термо-оптических процессов в мощных лазерных системах
- разработка методов вне- и внутрирезонаторного нелинейно-оптического преобразования частоты лазерной генерации в ультрафиолетовый, видимый, ближний и средний инфракрасные диапазоны спектра в кристаллах, жидкостях и газах
- разработка прототипов специализированных непрерывных, квази-непрерывных и импульсно-периодических твердотельных лазерных систем



# Полностью твердотельная многоволновая диодно-накачиваемая лазерная система

## Назначение:

- лазерная система предназначена для генерации импульсного излучения на одной или нескольких длинах волн из набора **11 длин волн**, перекрывающих ультрафиолетовый, видимый и коротковолновой инфракрасный спектральные диапазоны.

## Технические характеристики:

- длина волны генерации	266, 355, 532, 559, 563, 588, 599, 621, 639, 1064 и 1571 нм
- энергия импульса (в зависимости от длины волны)	15 – 160 мДж
- частота следования импульсов	10, 20 Гц
- длительность импульсов	9 – 15 нс
- расходимость пучка	1.5 – 6.0 мрад
- потребляемая мощность	< 950 Вт
- масса системы <b>без/с</b> источника питания	<b>58 / 69</b> кг

## Отличительные особенности и преимущества в сравнении с аналогами:

- широкий спектральный диапазон генерации (интервал рабочих частот перекрывает 6 октав)
- малое энергопотребление вследствие использования диодной накачки
- полностью твердотельный подход (отсутствие жидкого хладагента)
- гибкость в выборе рабочей длины волны (модульное исполнение)
- возможность одновременной генерации на нескольких длинах волн

## Область применения:

- охрана окружающей среды (лидарное зондирование атмосферы)
- медицина
- спектроскопия



Энергия импульса, нм	мДж
<b>266</b>	25
<b>355</b>	30
<b>532</b>	100
<b>559</b>	30
<b>563</b>	35
<b>588</b>	20
<b>599</b>	20
<b>621</b>	15
<b>639</b>	15
<b>1064</b>	160
<b>1571</b>	30

# Многоволновая квазинепрерывная лазерная система

## Назначение:

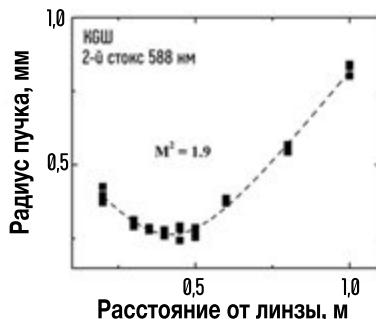
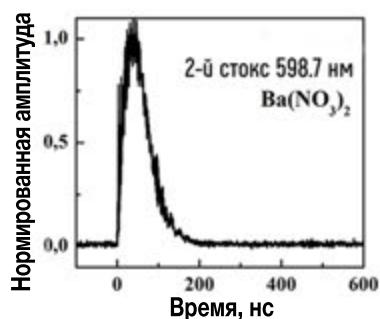
Лазерная система предназначена для генерации квазинепрерывного излучения на одной или нескольких из **17 длин волн** в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра

## Область применения:

- охрана окружающей среды (лидарное зондирование атмосферы)
- лазерные дальномеры
- биомедицина
- спектроскопия

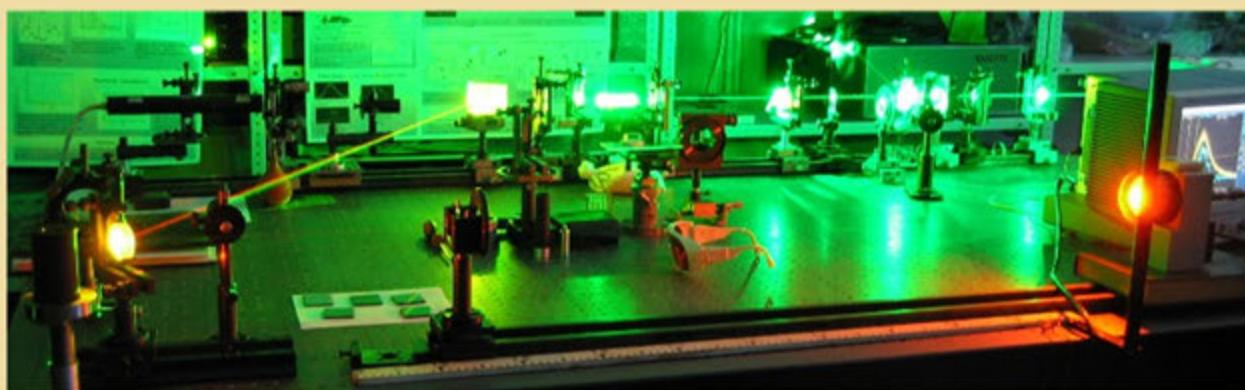
## Отличительные особенности и преимущества в сравнении с аналогами:

- широкий спектральный диапазон генерации
- полностью твердотельный подход
- возможность одновременной генерации на нескольких длинах волн



## Технические характеристики:

- |   |  |
|---|--|
| - длины волн генерации                                      | 532, 559, 563, 588, 599, 601, 639, 1064, 1159, 1178, 1197, 1272, 1316, 1369, 1410, 1493, 1598 нм |
| - средняя мощность излучения (в зависимости от длины волны) | 0,1 – 1,5 Вт   |
| - частота следования импульсов                              | 1 – 4 кГц  |
| - длительность импульсов                                    | 50 – 190 нс  |
| - расходимость пучка  | 3 – 5 мрад   |



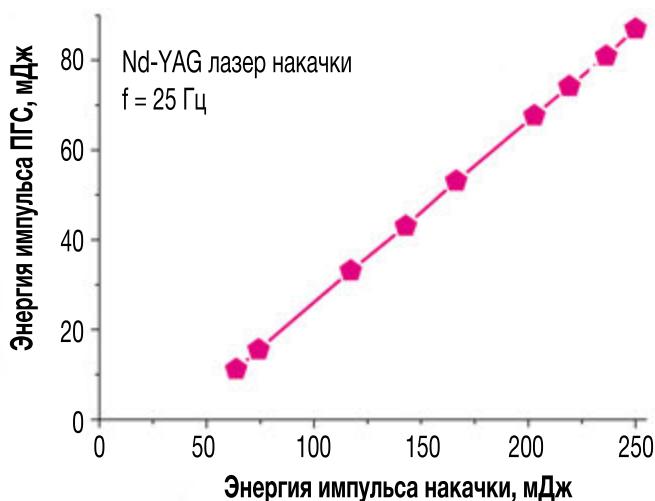
# Безопасный для глаз параметрический генератор света (ПГС) на кристаллах KTP (KTP) или KTA (KTA)

## Назначение:

- ПГС предназначен для нелинейно-оптического преобразования импульсного излучения Nd<sup>3+</sup>-лазера накачки в безопасное для глаз импульсное излучение на длине волн 1571 нм (KTP) или 1535 (КТА) нм.

## Область применения оптико-электронных систем:

- охрана окружающей среды (лидарное зондирование атмосферы)
- лазерная дальномерия
- обнаружение и дистанционное распознавание

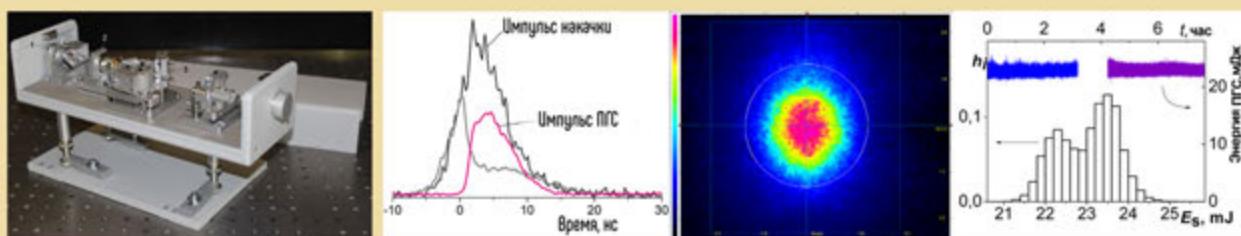


## Технические характеристики:

- длина волны Nd<sup>3+</sup>-лазера накачки ~ 1 мкм
- длина волны безопасного для глаз излучения 1571 нм (KTP-ПГС) или 1535 нм (КТА-ПГС)
- средняя энергия импульса ПГС 20 – 100 мДж
- частота следования импульсов до 30 Гц
- длительность импульсов 10 – 20 нс
- расходимость пучка ~ 5 мрад
- долговременная стабильность

## Отличительные особенности и преимущества в сравнении с аналогами:

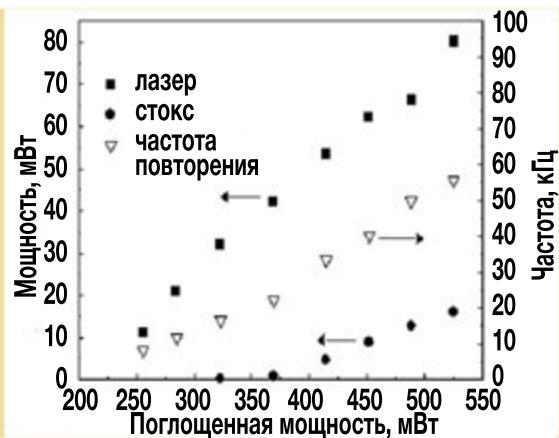
- реализация работы ПГС в режиме бегущей волны за счет использования кольцевого резонатора, что позволяет без применения дополнительных мер устранить обратную связь по излучению накачки между Nd<sup>3+</sup>-лазером и ПГС
- полностью твердотельный подход
- в случае линейного резонатора ПГС (режим стоячей волны) применение схемного решения, позволяющего устранить обратную связь по излучению накачки без использования дорогостоящих изоляторов Фарадея



# Диодно накачиваемые микрочип-лазеры или микрочип-лазеры с ВКР-преобразованием

## Назначение:

Микрочип-лазер предназначен для генерации импульсного излучения на одной или двух длинах волн в диапазоне 1 – 1.2 мкм с возможностью его нелинейно-оптического преобразования в УФ или видимую спектральную область.



## Технические характеристики (модель 1):

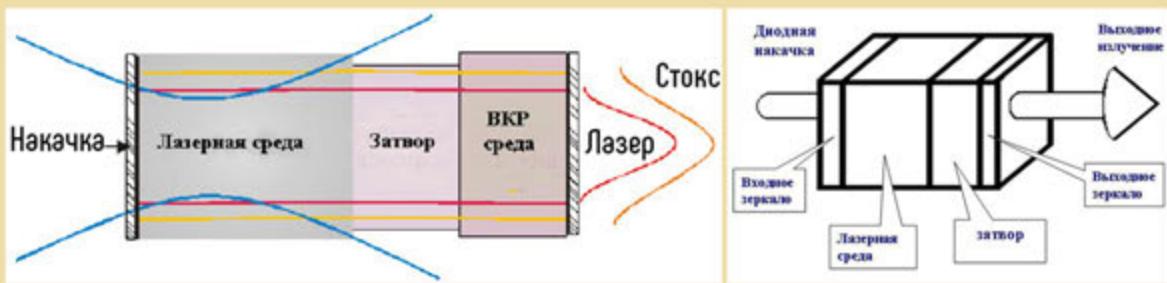
- длины волн генерации 1063, 1196, 598, 563, 532, 399, 383, 299, 282, 266, 239 нм
- средняя мощность излучения 1 – 80 мВт  
**(в зависимости от длины волны)**
- частота следования импульсов 1 – 60 кГц
- длительность импульсов 50 пс – 1 нс

## Технические характеристики (модель 2):

- длины волн генерации 266, 355, 532, 1064 нм
- энергия импульса до 1 мДж при 1064 нм
- частота следования импульсов 100 Гц
- длительность импульсов ~ 500 пс

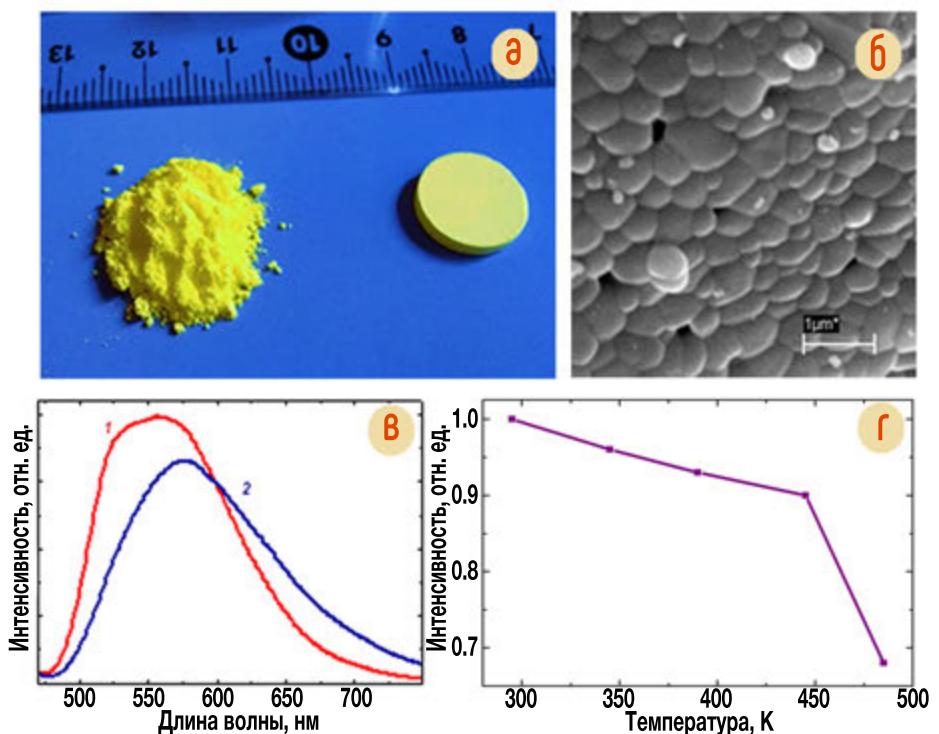
## Отличительные особенности и преимущества:

- предельно компактная конструкция, простота в использовании, малое энергопотребление
- одномодовый и одночастотный режим генерации
- возможность получения генерации на 2-х длинах волн
- генерация коротких импульсов
- высокая стабильность выходных параметров излучения



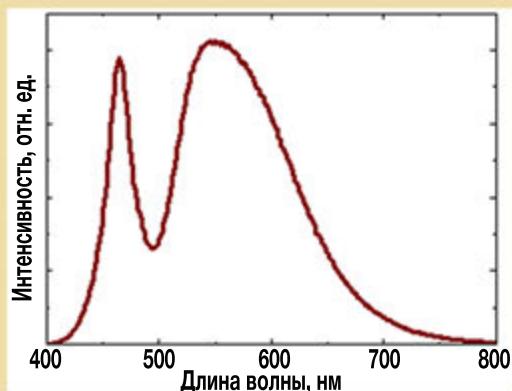
# Новые оксидные материалы для использования в системах преобразования света

Разработана методика приготовления жёлтого порошкового люминофора  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  с диаметром зерна примерно 500 нм и внутренним квантовым выходом люминесценции более 90%, что является рекордной величиной для высокодисперсных люминофоров. Использование в качестве присадки к данному люминофору оксида лантана позволяет существенно (до 50 нм) сдвигать барицентр полосы люминесценции в красную область спектра. Подобные люминофоры могут найти применение в системах светодиодного освещения и пригодны для изготовления люминесцирующей оптической керамики. Такая керамика отличается повышенной термической стабильностью люминесценции – при  $T = 440$  К, снижение её интенсивности составляет не более 10%, что позволяет использовать её в мощных светодиодных источниках освещения.



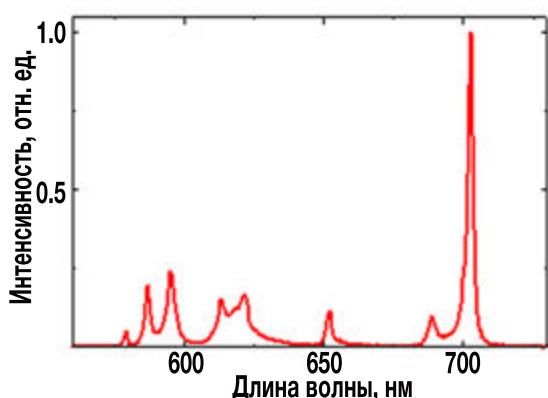
Фотография люминофора  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  и полученной из него керамики (а),  
микрофотография люминофора (б), «квантовые» спектры люминесценции люминофора (в)  
без (1) и с присадкой  $\text{La}_2\text{O}_3$  (2), зависимость интенсивности люминесценции керамики от температуры (г)

«Энергетический» спектр излучения  
двухкомпонентного источника «светодиод-люминофор»



Разработаны оксидные пленки, активированные ионами  $\text{Eu}^{3+}$  и характеризующиеся рекордной величиной коэффициента ветвления люминесценции в переходе  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_4$  ( $\lambda \approx 700$  нм), излучение которого приходится на область минимального наведенного поглощения. Это позволяет рекомендовать их в качестве активной среды планарных лазеров, соответствующего спектрального диапазона.

#### «Квантовый» спектр люминесценции оксидной пленки, легированной $\text{Eu}^{3+}$

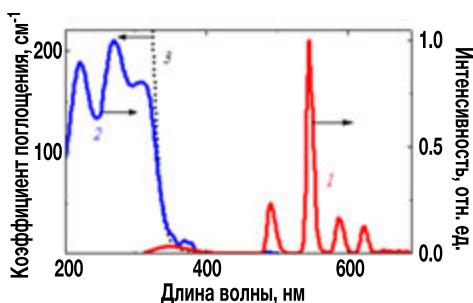


**Разработаны активированные стёкла для:**

- визуализации ультрафиолетовых изображений
- вытяжки оптоволокна и изготовления оптоволоконного экрана, визуализирующего рентгеновские изображения
- "downshifting" солнечного ультрафиолета в область высокой спектральной чувствительности солнечных элементов

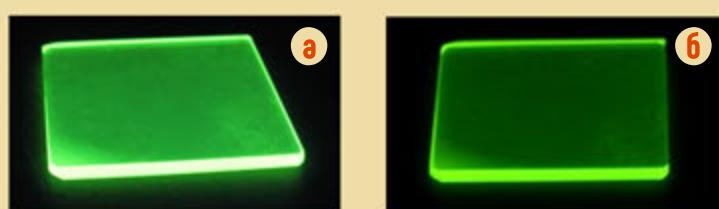
#### Технические характеристики:

- полное поглощение излучения с длиной волны не более 330 нм в слое толщиной 100 нм
- квантовый выход сенсибилизированной люминесценции порядка 60% при возбуждении в области 280 – 330 нм и 85% при возбуждении с длиной волны порядка 380 нм
- эффективность радиолюминесценции сопоставима с эффективностью монокристаллического сцинтиллятора  $\text{CdWO}_4$



- 1 - «квантовые» спектры люминесценции ( $\lambda_{возб} = 280$  нм)
- 2 - возбуждения люминесценции ( $\lambda_{пер} = 545$  нм)
- 3 - спектр поглощения стекла

#### Фотографии стекла при длине волны возбуждения 254 нм (а) и 365 нм (б)

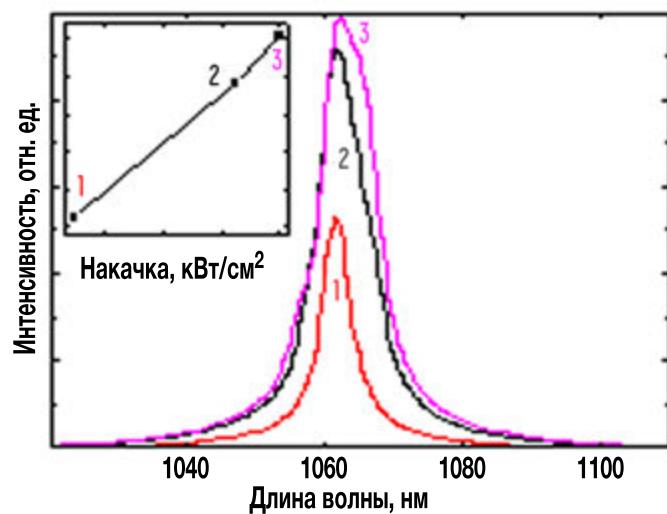


Разработаны Yb-содержащие хантитоподобные стёкла, перспективные для использования в качестве активного материала для волоконных лазеров непрерывной генерации и микрочиповых фемтосекундных лазеров с высоким удельным энергосъёмом. На тонкой пластинке из такого стекла в «глухом» полусферическом резонаторе при свето-диодной накачке получено лазерное излучение (при длине волны порядка 1060 нм с порогом порядка 60 Вт/мм<sup>2</sup>) в квазинепрерывном режиме (дифференциальная эффективность 12,5%) и в режиме модулированной добротности.

### Преимущества:

- пониженная кристаллизационная способность, позволяющая вытягивать оптоволокно
- малые эффективности фотообесцвечивания и фотопотемнения
- предельный квантовый выход люминесценции ионов Yb<sup>3+</sup> порядка 94%
- низкие потери на кооперативную люминесценцию Yb – Yb пар (на два порядка ниже, чем для кварцевого стекла при идентичных условиях накачки)
- большая эффективная полуширина полосы усиления (33 нм, что в 1,5 раза превосходит одноимённый параметр для легированных иттербием кристаллов хантита и иттрий-алюминиевого граната)
- высокие значения теплопроводности (0,73 – 0,95 Вт/м · К) и порога лазерно-индукционного разрушения поверхности (27 Дж/см<sup>2</sup>)

### Спектры генерации стекла в квазинепрерывном режиме (1 - 3), зависимость энергии генерации от мощности накачки (вставка):



полученные образцы стекол с анием 0,01 % наночастиц Au должны бы быть бесцветными, без признаков, так же как и образцы стекол с аналогичными составами, но содержащими объем золота, введенного непосредственно через HAuCl<sub>4</sub> в процессу окрашиванию стекла варки стекла (рис. 1). Очевидно, введение металлов в матрицу стекла требует результатам по различным характеристикам.

### Активный элемент из стекла с составом (мол. %):

1,5Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–8,5Y<sub>12</sub>O<sub>3</sub>–30Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–60B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

# ЦЕНТР «ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

**Основными направлениями деятельности являются:**

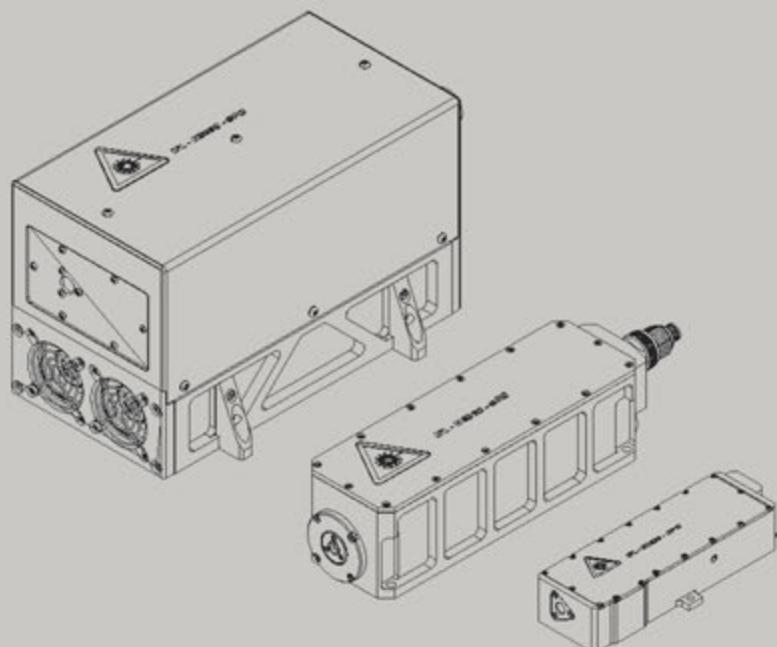
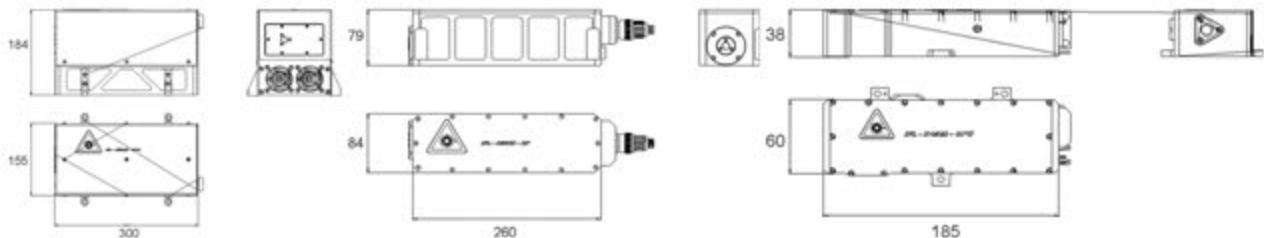
- исследования нелинейных эффектов в лазерных системах
- разработка и создание лазерных систем для комплексов дальномерии, спектроскопии, лидарной техники и медицины



# Nd:YAG лазеры с параметрической генерацией света

**ИФЛ-Н5030, ИФЛ-Н2560, ИФЛ-Н1520К и ИФЛ-Н1520** – надежные и компактные Nd:YAG лазеры с параметрической генерацией света, условно безопасные для органов зрения, с длиной волны излучения 1.57 мкм, с выходной энергией до 50 мДж, частотой повторения импульсов до 60 Гц, кондуктивным или воздушным охлаждением, внешней / внутренней синхронизацией, оптимизированы для интеграции в оптоэлектронные системы, компактные, разработанные для работы в условиях перепада температур - 40 ÷ + 50 °C.

Наименование лазера	ИФЛ-Н5030	ИФЛ-Н2560	ИФЛ-Н1520К	ИФЛ-Н1520
Длина волны, мкм			1.57	
Энергия импульса, мДж	50	25	15	
Частота повторения импульсов, Гц	до 30	до 60		до 20
Диаметр пучка, мм			< 5	
Расходимость пучка, мрад		< 8		< 5
Длительность импульса, нс			< 10	
Тип охлаждения	воздушный / кондуктивный		кондуктивный	
Рабочий температурный диапазон, °C	+ 10 ÷ + 40		- 40 ÷ + 50	+ 10 ÷ + 40
Габариты (Д × Ш × В), мм	300 × 155 × 185		260 × 84 × 79	185 × 60 × 38
Масса, кг			< 1.9	< 1



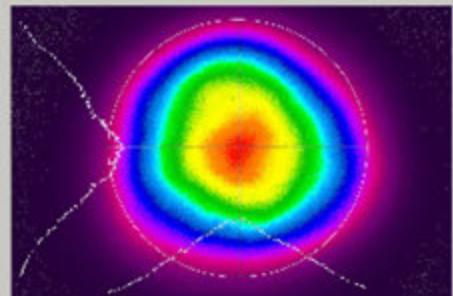
## Nd:YAG лазеры

**ИФЛ-Н200, ИФЛ-Н200К, ИФЛ-Н40КТ, ИФЛ-Н50СМ, ИФЛ-Н100К и ИФЛ-Н100-2И** являются универсальными источниками лазерного излучения на длине волны 1064 нм, надежными и компактными Nd:YAG лазерами, разработанными для научно-исследовательских и технологических применений и работы в условиях перепада температур - 40 – + 50 °C.

Наименование лазера	ИФЛ-Н200К	ИФЛ-Н40КТ	ИФЛ-Н100К
Модовый режим	многомодовый		
Длина волны, мкм	1.064		
Энергия импульса, мДж	200	40	100
Частота повторения импульсов, Гц	30, 100	30	
Длительность импульса, нс	< 12	< 10	
Диаметр пучка, мм	5	30	5
Расходимость пучка, мрад	< 1.3	< 0.4	< 1.5
Параметр качества пучка $M^2$	< 1.5	< 2	
Тип охлаждения	воздушный / кондуктивный		
Рабочий диапазон температур, °C	- 40 $\div$ + 50		
Габариты (Д × Ш × В), мм	420 × 155 × 74	266 × 84 × 79	200 × 88 × 84
Масса, кг	4	2	

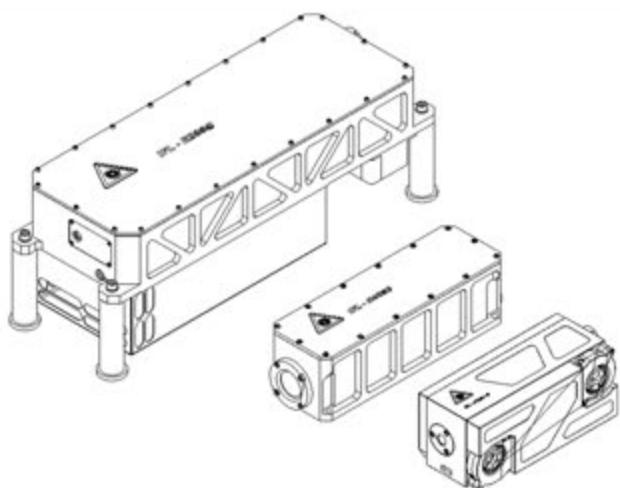


Дальнее поле  
выходного пучка



### Ключевые характеристики:

- выходная энергия до 200 мДж
- частота следования импульсов до 100 Гц
- компактный дизайн
- кондуктивное и воздушное охлаждение
- внешняя / внутренняя синхронизация
- лазеры устойчивы к вибрационным нагрузкам

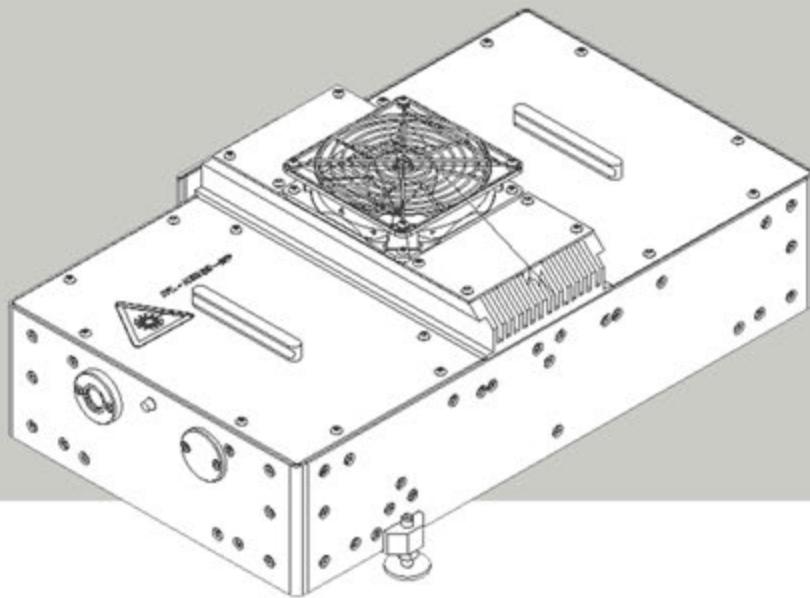
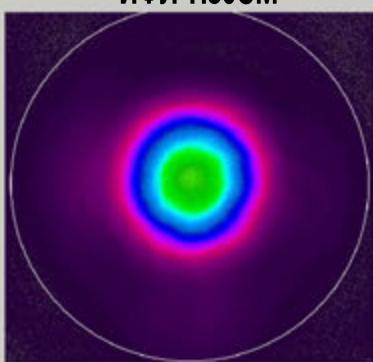


Наименование лазера	<b>ИФЛ-Н200</b>	<b>ИФЛ-Н50СМ</b>	<b>ИФЛ-Н100-2И</b>
Кол-во каналов излучения	1	1	2
Модовый режим	многомодовый	$TEM_{00}$	многомодовый
Длина волны, мкм		1.064	
Энергия импульса, мДж	200, 60	50	100
Частота повторения импульсов, Гц		30, 100	30
Длительность импульса, нс	< 12	< 25	< 10
Диаметр пучка, мм	5	2	< 5
Расходимость пучка, мрад	< 1.2		< 0.8
Параметр качества пучка $M^2$		< 1.5	
Тип охлаждения	кондуктивный		
	жидк., возд.	жидкостный	
Габариты ( $D \times Ш \times В$ ), мм	447 × 165 × 84		500 × 280 × 203
Масса, кг	5		8
Величина задержки между импульсами, мкс			1 - 100

с. 107

### Ближнее поле

#### выходного пучка лазера ИФЛ-Н50СМ



#### Ключевые характеристики:

##### ИФЛ-Н200:

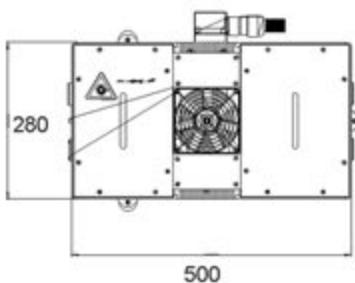
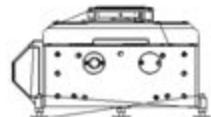
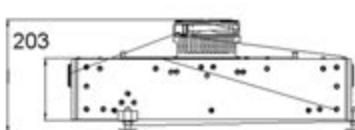
- энергия излучения до 200 мДж
- имеется возможность увеличения частоты следования импульсов до 100 Гц
- подключаемые модули второй, третьей и четвертой гармоник

##### ИФЛ-Н50СМ:

- Гауссов пучек (нулевая поперечная мода)

##### ИФЛ-Н100-2И:

- двухимпульсный лазер для LIBS спектроскопии
- регулируемая задержка между импульсами от 1 до 100 мкс



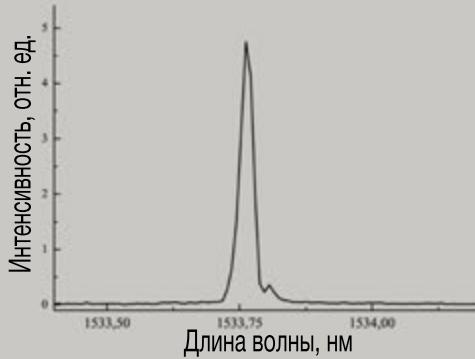
# Эрбьевые лазеры

Компактные эрбьевые лазеры **ИФЛ-Э25-П, ИФЛ-Э45-П, ИФЛ-Э85-П, ИФЛ-Э81-ПТ и ИФЛ-Э105-ЭО** специально предназначены для использования в устройствах, эксплуатируемых в широком диапазоне температур и подверженных ударным и вибрационным нагрузкам.

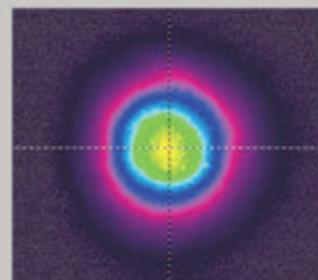
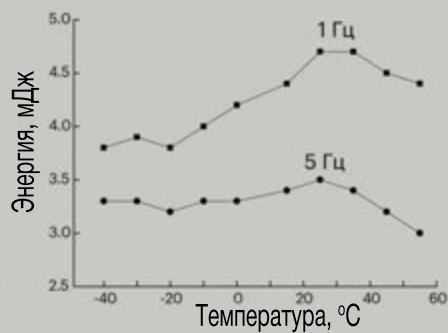


Наименование лазера	ИФЛ-Э25-П	ИФЛ-Э45-П
Тип накачки	диодная	
Модуляция	пассивная	
Длина волны, нм	1535	
Энергия импульса, мДж	2	4
Частота повторения импульсов, Гц	до 5	
Длительность импульса, нс	< 15	< 10
Диаметр пучка, мм		< 0.5
Расходимость пучка, мрад		< 4
Параметр качества пучка $M^2$		< 15
Тип охлаждения	кондуктивный	
Рабочий диапазон температур, °C	- 40 $\div$ + 60	
Габариты (Д $\times$ Ш $\times$ В), мм	60 $\times$ 34 $\times$ 22	
Масса, г		< 60

Спектр излучения генерации лазера

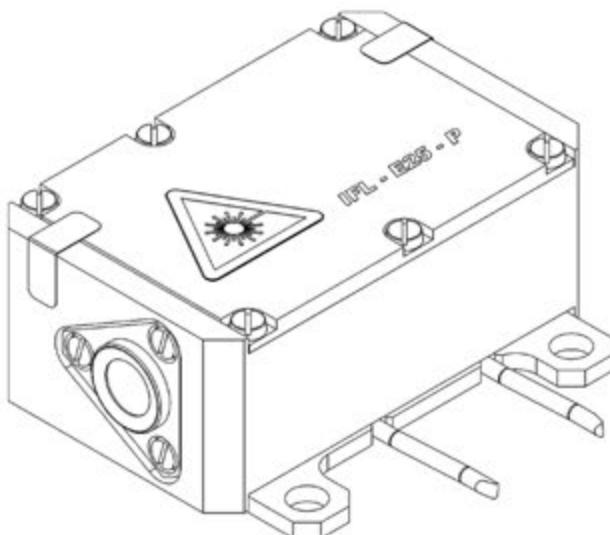
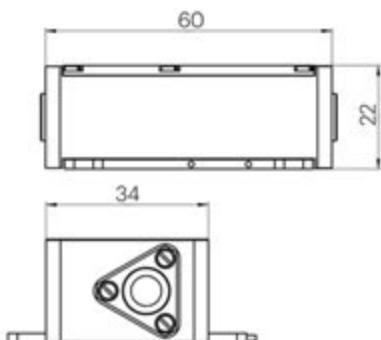


Лазер генерирует гауссов пучок на  $TEM_{00}$  поперечной моде



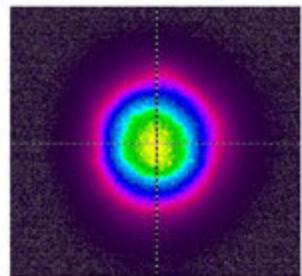
## Ключевые характеристики:

- лазеры устойчивы к вибрационным нагрузкам до 75 г
- не требуют принудительного охлаждения
- герметичный корпус

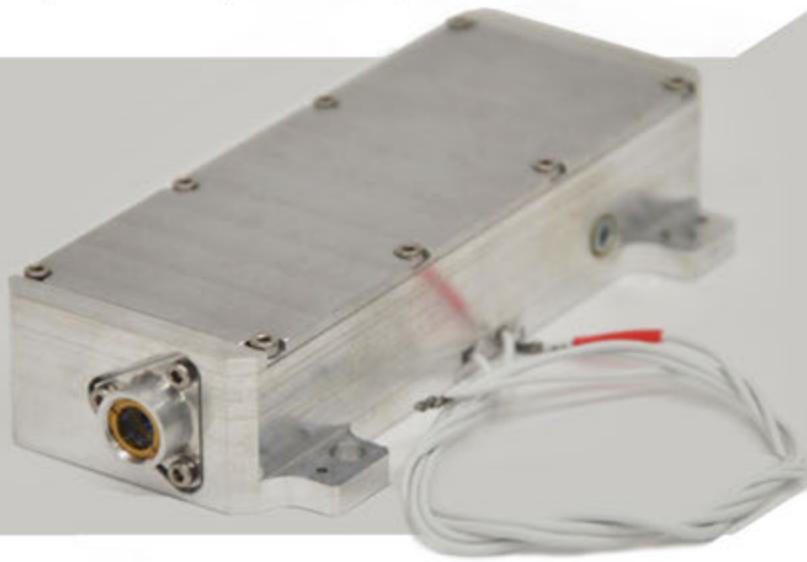
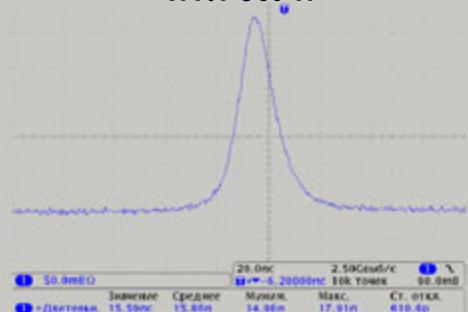


Наименование лазера	ИФЛ-Э85-П	ИФЛ-Э81-ПТ	ИФЛ-Э105-ЭО
Тип накачки		диодная	
Модуляция		пассивная	активная
Длина волны, нм		1535	
Энергия импульса, мДж	8		10
Частота повторения импульсов, Гц		до 5	
Длительность импульса, нс		< 20	
Диаметр пучка, мм	< 1		< 10
Расходимость пучка, мрад	< 4		< 0.4
Параметр качества пучка $M^2$	< 1.5		< 2
Тип охлаждения		кондуктивный	
Рабочий диапазон температур, °C		- 40 ÷ + 50	
Габариты (Д × Ш × В), мм	110 × 40 × 22	156 × 40 × 20	120 × 45 × 22
Масса, кг	< 0.20	< 0.25	< 0.60

Лазер генерирует гауссов пучок на  $TEM_{00}$  mode с расходимостью < 4 мрад

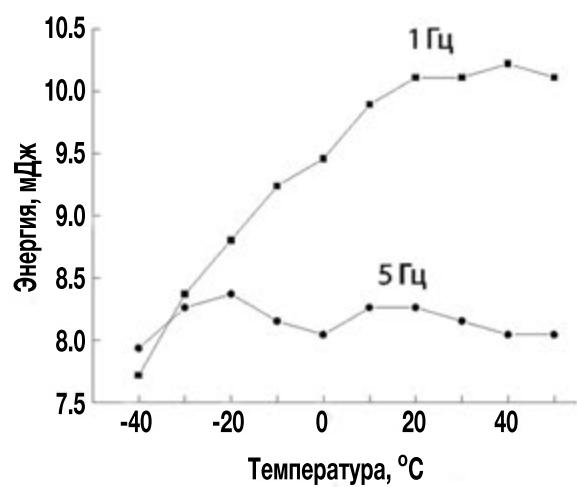
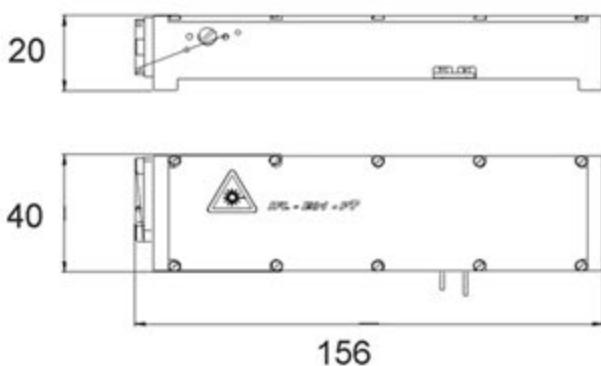


### Временной профиль пучка лазера ИФЛ-Э85-П



### Ключевые характеристики:

- лазеры устойчивы к вибрационным нагрузкам до 75 г
- не требуют принудительного охлаждения
- герметичный корпус



# ЦЕНТР «ОПТИЧЕСКОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ»

## **Направления деятельности:**

- теория переноса излучения в неоднородных и стохастических рассеивающих средах; перенос изображения в рассеивающих средах
- развитие методологии комплексного дистанционного наземного и спутникового мониторинга атмосферы и Земной поверхности
- исследования снега, ледников и открытой водной поверхности Антарктики, нацеленные на решение задач климатологии и контроля крупномасштабного переноса загрязнений
- мониторинг трансграничного переноса загрязнений в регионе Беларуси
- разработка аппаратуры оптического дистанционного зондирования атмосферного аэрозоля, газовых примесей, подстилающей поверхности
- исследование рассеяния и поглощения света отдельными частицами и упорядоченными дисперсными структурами для решения задач оптимизации характеристик фотонных кристаллов, жидких кристаллов, оптических покрытий и солнечных элементов

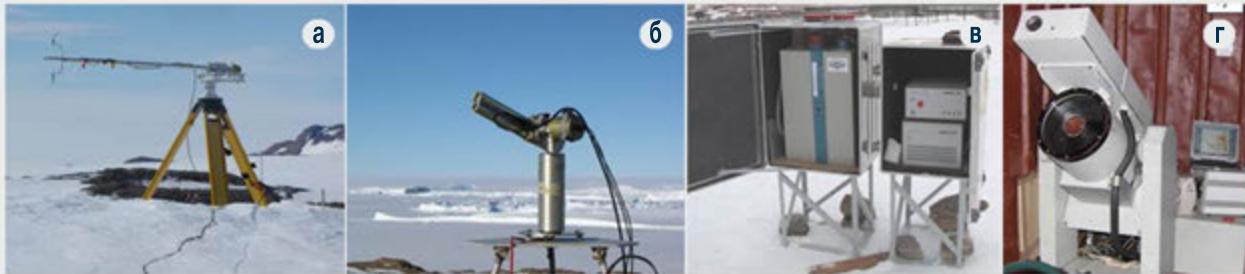


# Исследования в Антарктиде

## Комплексный наземный и спутниковый мониторинг атмосферы и земной поверхности в Антарктиде

«Гора Вечерняя» — сезонная белорусская антарктическая научная станция, которая находится восточнее горы Вечерней (272 м), на побережье моря Космонавтов.

На научной станции впервые в антарктических исследованиях создан и введен в эксплуатацию многофункциональный аппаратурный комплекс дистанционного мониторинга атмосферы и земной поверхности, включающий много волновые лидары и солнечные спектрофотометры.

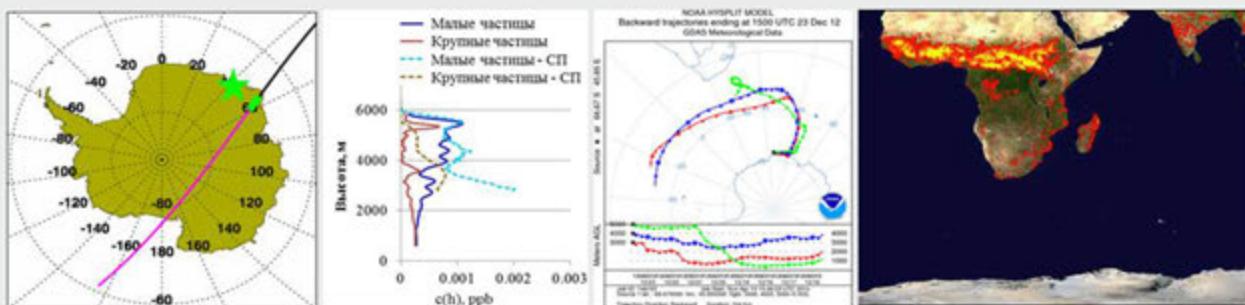


### Аппаратура для измерения характеристик аэрозоля и подстилающей поверхности:

- а - спектральный альбедометр; б - многоволновой сканирующий солнечный радиометр;  
в - двух-вольновой лидар; г - многоволновой рамановский лидар

Впервые в Антарктиде проведены комплексные наземные и спутниковые, многоволновые лидарные и радиометрические исследования тропосферного аэрозоля. В районе базирования Белорусской антарктической экспедиции (БАЭ) зарегистрированы события крупномасштабного переноса дымов из Южной Африки.

### Комплексный лидарный и радиометрический эксперимент («Гора Вечерняя», 23.12.2012)



# Двухканальный спектральный альбометр «AS-2A»

Двухканальный спектральный альбометр предназначен для наблюдения спектров диффузного отражения (альбедо) и яркости земной поверхности.

Альбометр «AS-2A» состоит из регистрирующего, управляющего и приемного модулей. При измерении альбено земной поверхности приемная площадка регистрирующего модуля канала 1 располагается горизонтально над земной поверхностью. Фотодатчики у двух поверхностей белой рассеивающей площадки регистрируют падающее и отраженное земной поверхностью солнечное излучение.

Регистрация яркости поверхности в канале 2 осуществляется отдельным фотодатчиком. Калибровка измерений осуществляется по интенсивности солнечного излучения, рассеянного белой площадкой.

Для увеличения числа пунктов наблюдений в автоматическом режиме, регистрирующие модули могут объединяться в группу до 3 образцов с единым центром управления. Предусмотрен ручной режим работы альбометра, с одним регистрирующим модулем, при этом увеличивается мобильность проведения наблюдений.

## Технические характеристики:

- поле зрения 2π стерadian
- спектральный диапазон 350 - 900 нм
- спектральное сглаживание по выбору
- количество пунктов наблюдения в автоматическом режиме 3
- расстояние между пунктами наблюдения в автоматическом режиме до 100 м



# Лидар контейнерного типа «ПОЛЮС»

Автоматизированный многоволновый поляризационный рамановский лидар контейнерного типа “ПОЛЮС” предназначен для измерения высотных профилей оптических характеристик аэрозоля и облаков в спектральном диапазоне 355 – 1064 нм, концентраций аэрозольных фракций и идентификации фазового состава облаков.

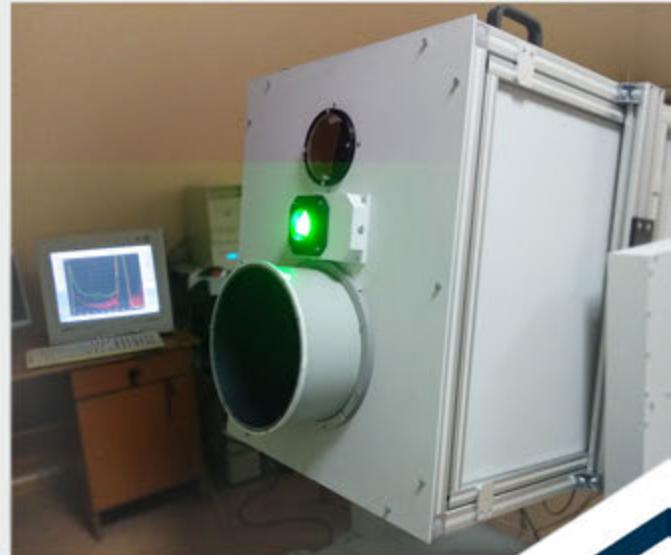
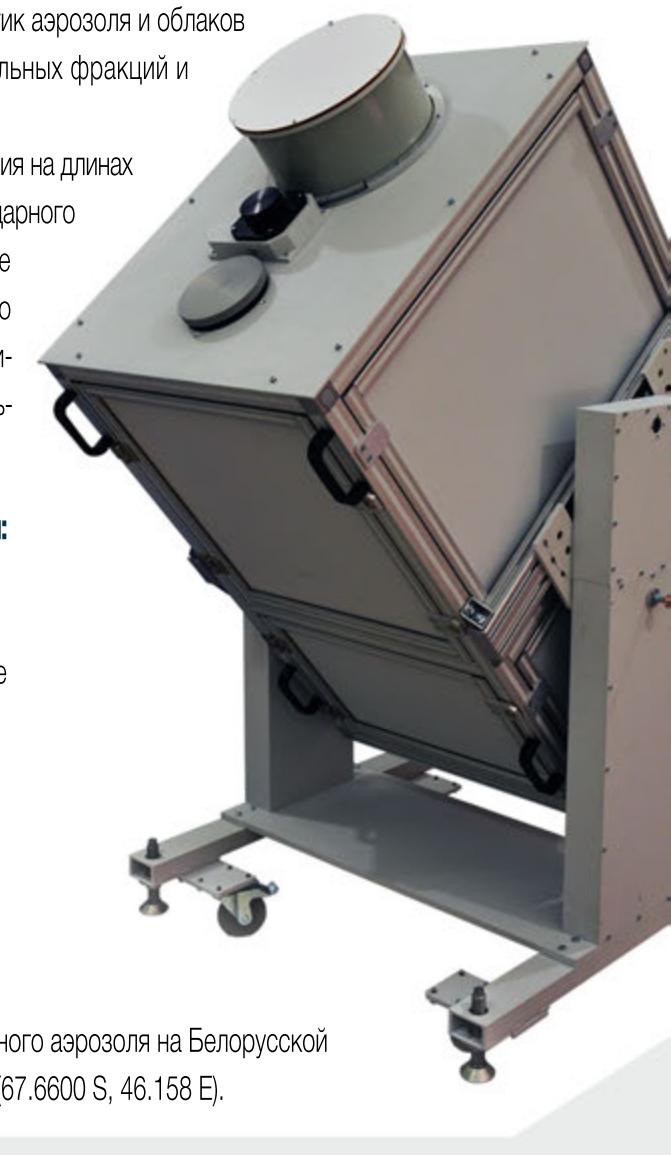
Лидар «ПОЛЮС» производит измерения сигналов обратного рассеяния на длинах волн 355, 532 и 1064 нм, а также деполяризованной компоненты лидарного сигнала на длине волны 532 нм в дневное и ночное время. В темное время суток лидар обеспечивает измерения сигналов рамановского рассеяния атмосферным азотом на длинах волн 387 и 607 нм. Зондирование атмосферы проводится на расстояние до 15 км по вертикальной и наклонным трассам.

## Лидар включает следующие основные функциональные блоки:

- излучатель – YAG-лазер с диодной накачкой
- малый приемный объектив системы регистрации в ближней зоне
- большой приемный объектив системы регистрации в дальней зоне
- приемный блок системы регистрации в ближней зоне
- приемный блок системы регистрации в дальней зоне
- блок питания лазера
- система термоконтроля
- управляющий компьютер

## Область применения лидара:

Лидар будет использоваться для измерения параметров атмосферного аэрозоля на Белорусской антарктической станции «Гора Вечерняя» в Восточной Антарктиде (67.6600 S, 46.158 E).



# ЦЕНТР ИСПЫТАНИЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Во исполнение поручений Президента Республики Беларусь от 08.07.1999 (протокол № 9) и Совета Министров Республики Беларусь от 03.11.1999 № 05/540-220, с целью создания **национальной системы метрологического обеспечения Республики Беларусь в области лазерной техники и оптики**, в Институте физики НАН Беларуси в 2000 г. была создана научно-испытательная лаборатория лазерной техники (НИЛЛТ), на которую возложили обязанности по метрологическому обеспечению разрабатываемой, создаваемой и используемой в стране лазерной и оптоэлектронной техники.

Постановлением Президиума НАН Беларуси от 18.10.2001 № 118 лаборатория аттестована в качестве Центра коллективного пользования.

Совместным приказом НАН Беларуси и Госстандарта Республики Беларусь от 8.08.2003 № 50/113 для **Института физики НАН Беларуси установлен статус научного метрологического центра в области измерений параметров и характеристик лазерно-оптической техники**, а выполнение функций центра возложено на НИЛЛТ. Решением Комиссии Таможенного союза от 07.04.2011 № 620 **лаборатория включена в Реестр органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) Таможенного союза**, осуществляющих оценку соответствия продукции требованиям Технических регламентов Таможенного союза.

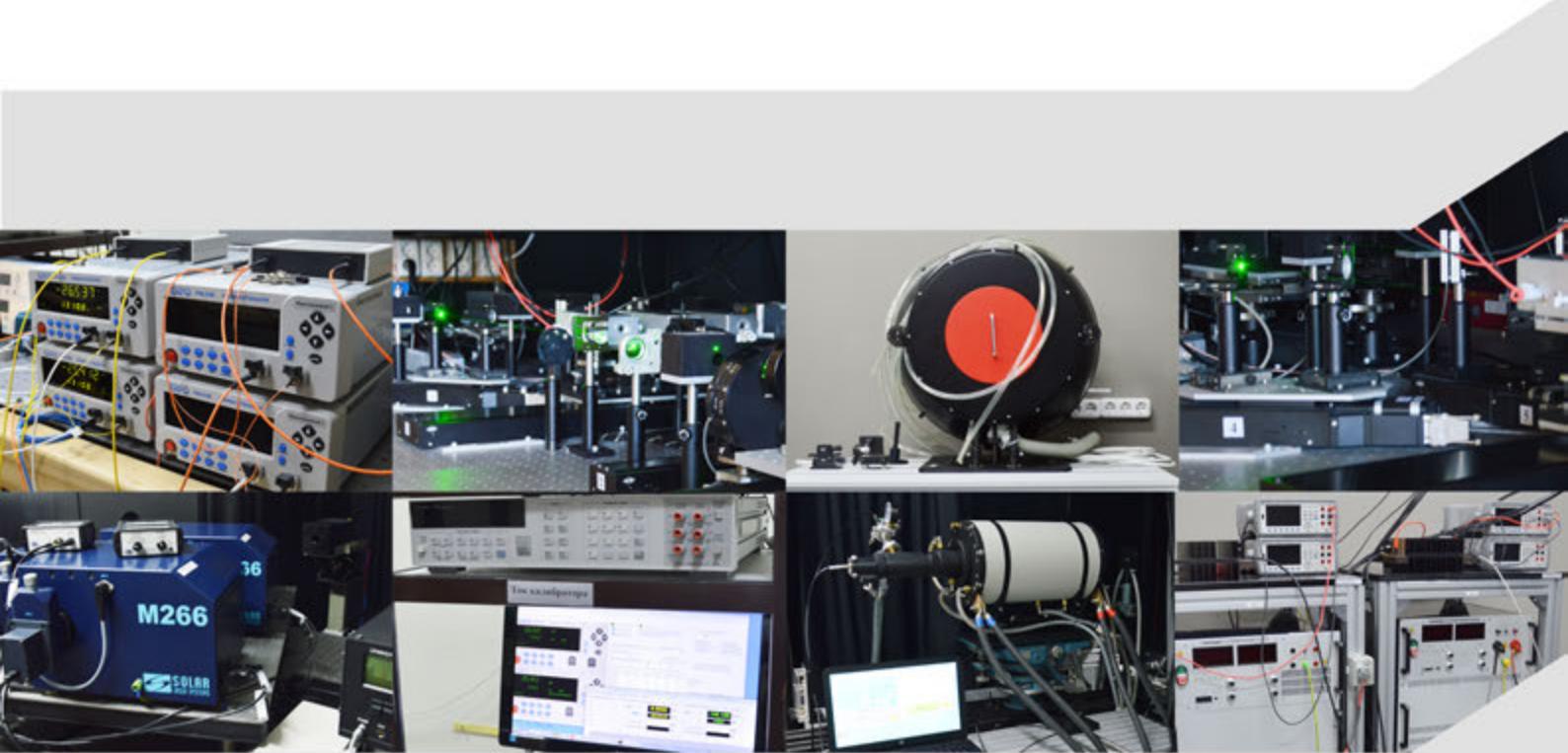
В январе 2015 г. лаборатория преобразована в Центр испытаний лазерной техники (ЦИЛТ) Института физики НАН Беларуси.

Центр аккредитован Белорусским государственным центром аккредитаций на соответствие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025 как **испытательная лаборатория (аттестат аккредитации BY/112 1.1790 действителен до 01.08.2021)** и как **калибровочная лаборатория (аттестат аккредитации BY/112 02.5.0.0013)**.



В результате совместной деятельности Белорусского государственного института метрологии (БелГИМ) и ЦИЛТ создана, успешно функционирует и развивается национальная система метрологического обеспечения Республики Беларусь в области лазерной техники и оптики, базирующаяся на:

- национальных эталонах единиц физических величин с соответствующими поверочными схемами, используемыми в оптике, лазерной и оптоэлектронной технике ([совместно с БелГИМ создано 8 национальных эталонов единиц величин, из них 4 эталона эксплуатируются в ЦИЛТ](#))
- установках высокой точности для измерений характеристик оптического излучения и метрологического контроля (проверки, калибровки) соответствующих средств измерений (СИ) ([в ЦИЛТ создано и эксплуатируется 17 установок высокой точности](#))
- государственных стандартах, идентичных международным нормам ([в ЦИЛТ подготовлено и введено в действие постановлениями Госстандарта 65 государственных стандартов Республики Беларусь в области лазерной техники и оптики](#))
- программах и методиках метрологической аттестации эталонов, измерительных и калибровочных (поверочных) установок, методиках выполнения измерений и методиках калибровки (проверки) СИ, вошедших в Систему обеспечения единства измерений Республики Беларусь в области лазерной и оптоэлектронной техники ([в ЦИЛТ разработано более 80 методик](#))
- аккредитованных калибровочной, поверочной и испытательных лабораториях



# Национальный эталон единиц средней мощности и энергии лазерного излучения

Национальный эталон единиц средней мощности и энергии лазерного излучения (ЛИ) предназначен для воспроизведения и хранения в спектральном диапазоне от 0,3 до 10,6 мкм единиц средней мощности и энергии ЛИ в диапазонах от  $10^{-9}$  до 2 Вт и от  $10^{-7}$  до 1 Дж соответственно, а также передачи единиц средней мощности на длинах волн 0,532; 0,808; 1,064 и 10,6 мкм и энергии ЛИ на длинах волн 0,532; 0,808; 1,064 мкм эталонам низшего звена, калибровочным (проверочным) установкам и рабочим средствам измерений (СИ).

## Преимущества разработки по сравнению с мировыми аналогами:

- созданный эталон превосходит эталоны отдельных международных центров по таким характеристикам как динамический диапазон и стандартная неопределенность
- эталон позволяет выполнять воспроизведение, хранение и передачу как единицы средней мощности, так и энергии ЛИ (эталоны не всех международных метрологических центров воспроизводят единицу энергии ЛИ)
- использование в эталоне электрооптических затворов на эффекте Поккельса обеспечивает получение прямоугольных импульсов ЛИ с частотой следования до 1 МГц длительностью от 1 мкс до 10 с, что существенно уменьшило неопределенность воспроизведения единицы энергии ЛИ

## Экономическая эффективность разработки, вклад в решение ключевых социально-экономических проблем:

- эталон позволит наладить в Беларуси калибровку рабочих эталонов и СИ, что будет служить основой для создания последующих уровней поверочной схемы
- проведение калибровки СИ поставит ее на новый качественный уровень – она будет иметь подтверждение соответствия стандартам и техническим условиям
- эксплуатация эталона направлена на обеспечение метрологических нужд ведомств и организаций, использующих лазерную технику и, тем самым, приобретает общегосударственную и социальную значимость



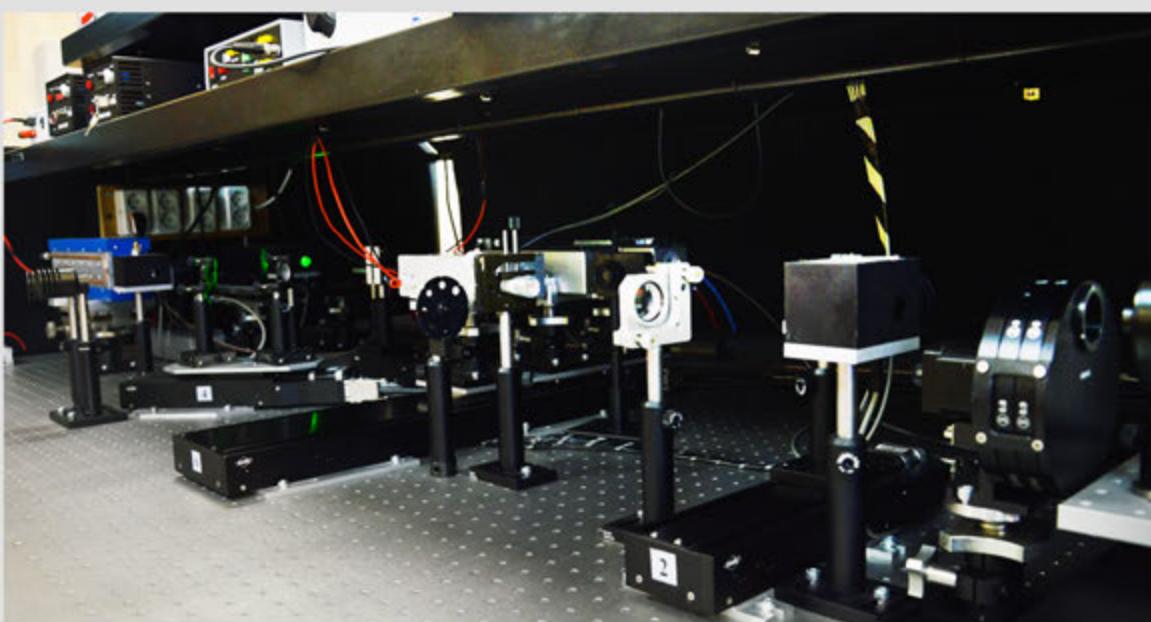
### **Конкурентоспособность:**

В настоящее время в мире эксплуатируется несколько десятков тысяч СИ мощности и энергии ЛИ, которые нуждаются в постоянной калибровке. Метрологические характеристики созданного эталона, соответствующие мировому уровню, позволяют участвовать в международных сличениях, тем самым повышая конкурентоспособность его на внешнем рынке.

В Беларуси общее количество СИ средней мощности и энергии ЛИ оценивается более чем в 1000 приборов. Проведение метрологических работ в других государствах обходится довольно дорого и требует привлечения больших валютных средств. Выполнение этих работ на созданном эталоне исключит необходимость обращения заказчиков в зарубежные метрологические центры и обеспечит экономию по импортозамещению.

### **Область применения:**

- энергоэффективные технологии и техника
- робототехника, интеллектуальные системы управления
- новые многофункциональные материалы, специальные материалы с заданными свойствами, оптоэлектроника и оптические системы, технологии электронного приборостроения, микроэлектроника, радиоэлектроника
- технологии профилактики, диагностики и лечения заболеваний, реабилитационные технологии, медицинские биотехнологии, диагностические препараты и тест-системы, медицинская техника, нанотехнологии, информационные авиационно-космические технологии, средства технической и криптографической защиты информации, технологии и системы электронной идентификации
- перспективные средства и технологии обеспечения национальной безопасности и обороноспособности



# Национальный эталон единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации

Эталон единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации (ВОСП) предназначен для:

- обеспечения единства измерений в спектральном диапазоне от 650 до 1700 нм средней мощности оптического излучения в диапазоне от  $1 \times 10^{-11}$  до  $1 \times 10^{-2}$  Вт
- ослабления оптического излучения в ВОСП в диапазоне от 0,05 до 60,00 дБ и длины волны оптического излучения
- воспроизведения и передачи размера единиц указанных величин на фиксированных длинах волн 655, 852, 1309, 1489, 1548 и 1627 нм эталонам более низкого разряда и высокоточным рабочим средствам измерения (СИ), которые используются при строительстве, монтаже и пусконаладке волоконно-оптических линий связи

Постановлением Госстандарта от 16.01.2015 №1 [эталон утвержден в качестве национального эталона и внесен в Реестр национальных эталонов Республики Беларусь](#) за номером НЭ 25-15.

## Преимущества разработки по сравнению с мировыми аналогами:

международные сличения в рамках проекта Организации сотрудничества государственных метрологических учреждений стран Центральной и Восточной Европы (КООМЕТ) COOMET.PR-S8, направленные на установление степени эквивалентности национальных эталонов единицы длины волны оптического излучения в ВОСП России, Беларуси, Германии, Китая, Бразилии, Южной Африки и Египта, показали, что точностные характеристики измерений при воспроизведении длины волны оптического излучения на эталоне лучше по сравнению с аналогичными характеристиками эталонов стран, принимавших участие в сличениях.

## Экономическая эффективность разработки:

в результате создания эталона осуществляется поверка различных волоконно-оптических устройств, а также измерение их характеристик. Это повышает качество выпускаемой и используемой в Республике Беларусь оптоэлектронной продукции для ВОСП, поднимает ее конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках, существенно уменьшает затраты, за счет сокращения расходов на проведение измерений за пределами Республики Беларусь. Метрологическое обеспечение ВОСП является необходимым элементом развития Беларуси как ИТ-страны и способствует достижению информационной безопасности Республики Беларусь.



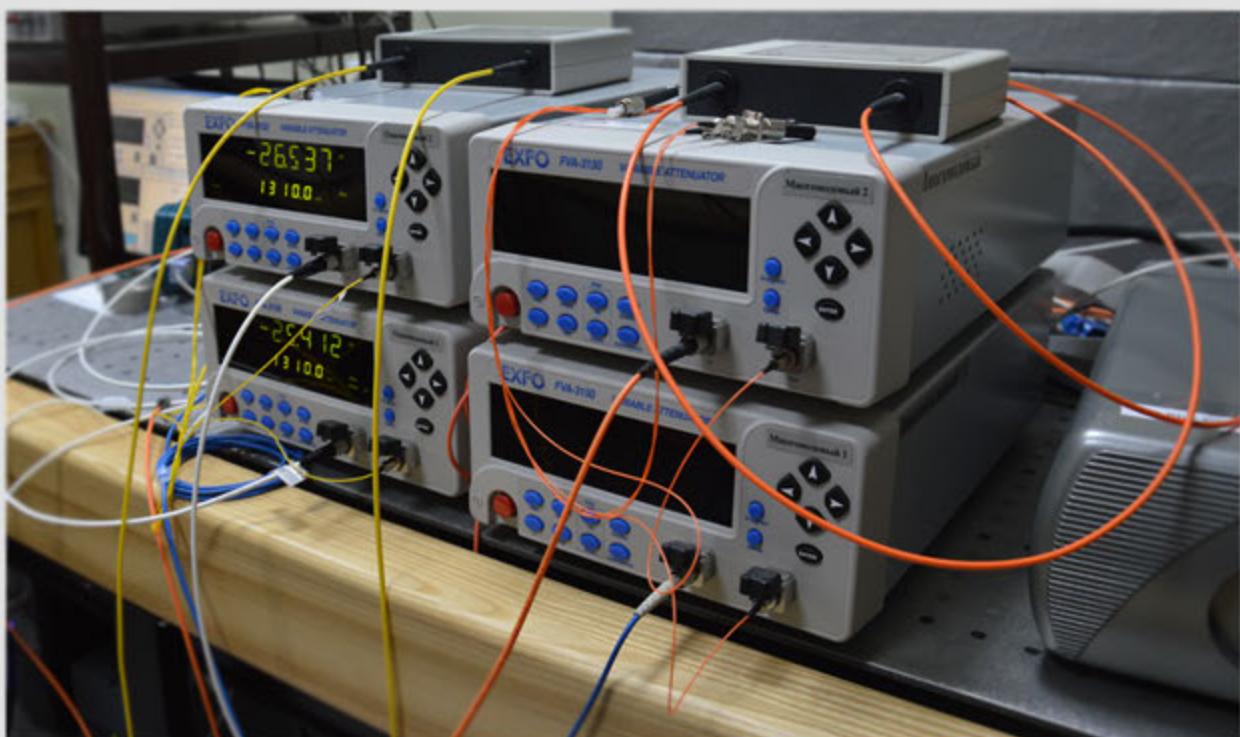
## **Конкурентоспособность:**

В связи с бурным развитием ВОСП, которые являются основным направлением развития телекоммуникационных систем, в мире имеется несколько сотен тысяч СИ средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения в ВОСП. Метрологические характеристики национального эталона НЭ 25-15, соответствующие мировому уровню, позволяют участвовать в международных сличениях, тем самым, повышая конкурентоспособность его на внешнем рынке.

Метрологическая база Республики Беларусь в области измерений параметров ВОСП, важнейшими из которых являются мощность и длина волны оптического излучения, затухание мощности оптического излучения в оптическом волокне, включает свыше 500 оптических тестеров, оптических рефлектометров и анализаторов спектра. Стоимость калибровки (проверки) на созданном эталоне существенно ниже, чем калибровка (проверка) одной единицы этих средств во ВНИИОФИ (г. Москва), что позволяет провести аттестацию большинства имеющихся в республике СИ с существенно меньшими затратами.

## **Область применения:**

- информационно-коммуникационные технологии
- связь
- национальная безопасность и обороноспособность
- защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций



# Национальный эталон единицы поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне

Национальный эталон единицы поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне предназначен для обеспечения единства измерений поляризационной модовой дисперсии (ПМД) в диапазоне от 0,005 до 120,0 пс, хранения размера единицы ПМД в оптическом волокне, воспроизведения и передачи размера единицы указанной величины эталонам более низкого разряда и высокоточным рабочим средствам измерения (СИ), которые используются при строительстве, монтаже и пуско-наладке волоконно-оптических линий связи.

## Преимущества разработки по сравнению с мировыми аналогами:

- эталон имеет метрологические характеристики, соответствующие требованиям международных стандартов
- точностные характеристики эталона в 1,5 раза лучше по сравнению с аналогичными характеристиками эталона ГЭТ 185-2010, созданного во ВНИИОФИ, Россия

## Экономическая эффективность разработки обусловлена:

- объединением эталонных средств в соответствии с государственной поверочной схемой в единый национальный эталон с оптимизацией количества звеньев поверочной схемы
- повышением точности передачи размеров единицы ПМД в линиях и элементах волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСП)
- созданием системы метрологического обеспечения измерений ПМД в оптическом волокне и элементах высокоскоростных ВОСП со спектральным уплотнением
- возможностью модернизации уже существующих ВОСП с целью увеличения пропускной способности линий связи

Эксплуатация эталона направлена на обеспечение метрологических нужд ведомств и организаций, использующих ВОСП и, тем самым, приобретает общегосударственную и социальную значимость.



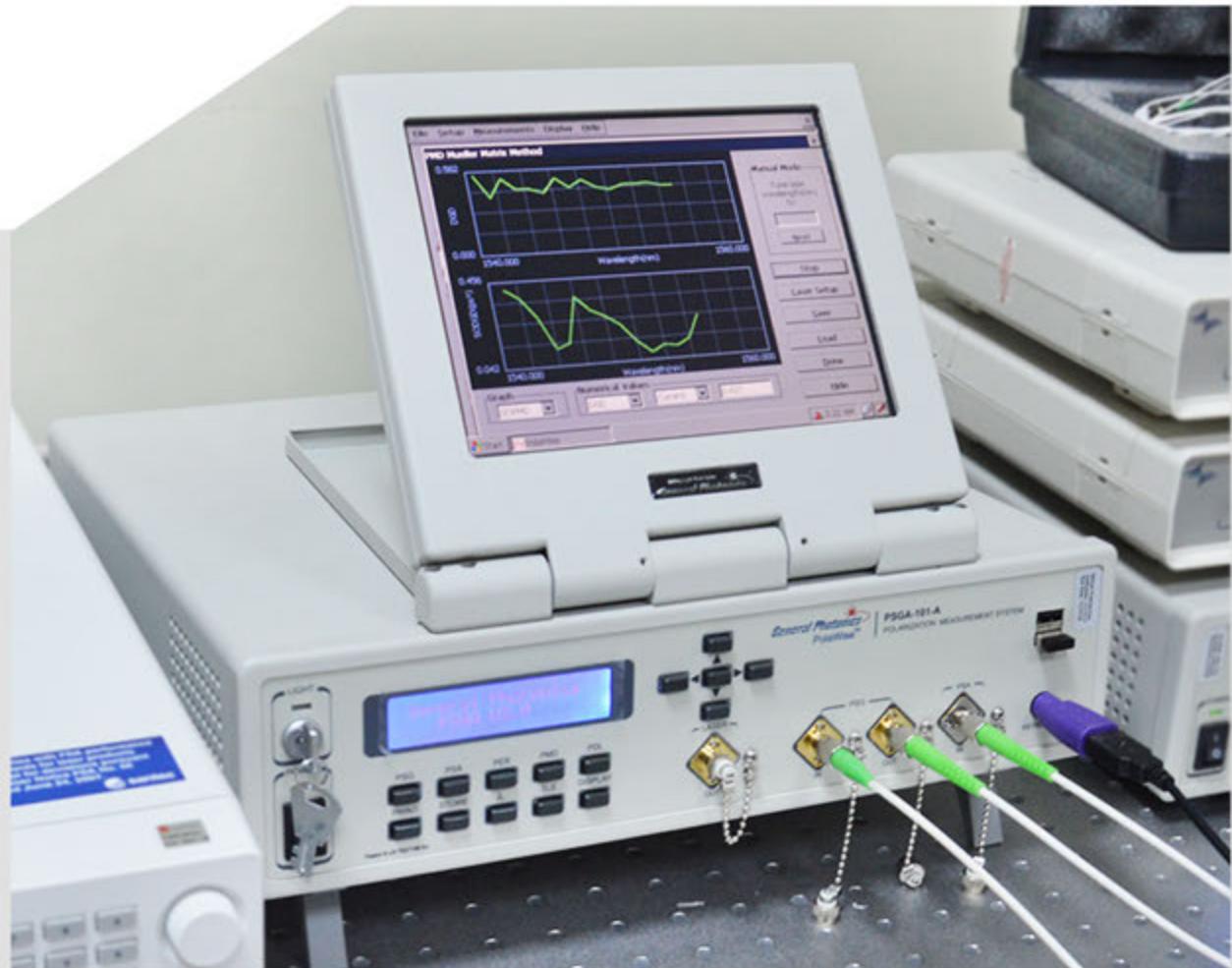
## **Конкурентоспособность:**

В связи с бурным развитием ВОСП, которые являются основным направлением развития телекоммуникационных систем, в мире имеется несколько десятков тысяч СИ ПМД. Метрологические характеристики Национального эталона, соответствующие мировому уровню, позволяют участвовать в международных сличениях, тем самым повышая конкурентоспособность его на внешнем рынке.

Метрологическая база Республики Беларусь в области измерений ПМД в оптическом волокне и элементах ВОСП включает свыше 100 СИ. Стоимость калибровки на созданном эталоне гораздо ниже, чем стоимость калибровки (проверки) одной единицы этих средств во ВНИИОФИ (г. Москва), что позволяет провести аттестацию большинства имеющихся в республике СИ с существенно меньшими затратами.

## **Область применения:**

- информационно-коммуникационные технологии
- связь, оптоэлектроника и оптические системы
- национальная безопасность и обороноспособность
- защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций



## **Национальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности энергетической освещенности и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 3,0 мкм**

Национальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,3 до 3,0 мкм (далее – эталон), предназначен для воспроизведения, хранения и передачи размера соответствующих единиц рабочим эталонам и другим средствам измерений (СИ), применяемым для калибровки, диагностики и измерений оптических характеристик источников и приемников оптического излучения, используемых в промышленности, научных исследованиях и приборостроении, агропромышленных технологиях, медицине и здравоохранении, информационно-коммуникационных и авиакосмических технологиях.

### **Преимущества разработки по сравнению с мировыми аналогами:**

- конструкция эталона обеспечивает возможность измерений СПЭО и силы излучения при расстоянии между приемником и источником излучения менее 200 мм, что актуально для измерения оптических характеристик светодиодов и некоторых типов эталонных ламп
- эталон позволяет проводить измерения пространственного распределения силы излучения и СПЭО малоразмерных источников излучения, в том числе светодиодных
- система терmostабилизации модели высокотемпературного черного тела обеспечивает его охлаждение с погрешностью 0,2 °C, что позволяет улучшить метрологические характеристики эталона и увеличить его рабочий ресурс

### **Экономическая эффективность разработки:**

эксплуатация эталона направлена на обеспечение метрологических нужд ведомств и организаций, использующих и создающих спектрорадиометрическую аппаратуру и, тем самым, приобретает общегосударственную и социальную значимость

### **Конкурентоспособность:**

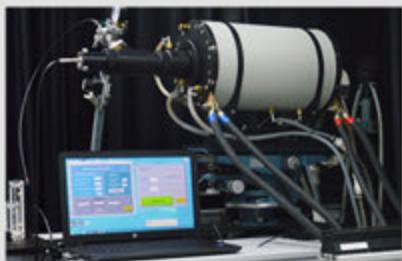
В настоящее время в мире эксплуатируются сотни тысяч радиометров, спектрометров, спектрорадиометров и спектрорадиометрических систем, которые нуждаются в постоянной калибровке (проверке). Метрологические характеристики Национального эталона, соответствующие мировому уровню, позволяют участвовать в международных сличениях, тем самым повышая его конкурентоспособность на внешнем рынке.



Метрологическая база республики в области измерений радиометрических и спектрорадиометрических характеристик оптического излучения включает свыше 400 радиометров, 200 спектрометров, спектрорадиометров и спектрорадиометрических систем. Проведение метрологических работ в других государствах обходится довольно дорого и требует привлечения больших валютных средств. Стоимость калибровки одной эталонной лампы в Институте физики НАН Беларусь обходится гораздо дешевле.

### **Область применения:**

- энергоэффективные технологии и техника
- агропромышленные технологии и производства
- переработка сельскохозяйственной продукции
- производство продовольствия
- робототехника
- интеллектуальные системы управления
- новые многофункциональные материалы
- специальные материалы с заданными свойствами
- оптоэлектроника и оптические системы
- технологии электронного приборостроения
- микроэлектроника, радиоэлектроника
- технологии профилактики
- диагностика и лечение заболеваний
- реабилитационные технологии
- фармацевтические технологии
- медицинские биотехнологии
- лекарственные средства
- диагностические препараты и тест-системы
- медицинская техника
- гигиеническая оценка и нормирование факторов среды обитания
- минимизация рисков для здоровья человека
- нанотехнологии
- биотехнологии в сельскохозяйственном производстве и пищевой промышленности
- информационные авиационно-космические технологии
- средства технической и криптографической защиты информации
- технологии и системы электронной идентификации
- устойчивое использование природных ресурсов и охрана окружающей среды
- солнечная электроэнергетика
- перспективные средства и технологии обеспечения национальной безопасности и обороноспособности
- защита населения и территории от чрезвычайных ситуаций



# ЦЕНТР АНАЛИТИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

## Основными направлениями исследований являются:

- проведение всесторонних спектроскопических измерений и исследование веществ в различных фазовых состояниях (спектроскопия поглощения, пропускания и отражения в УФ-, видимой и ИК-областях спектра, ЭПР-спектроскопия, КР-спектроскопия, люминесцентная спектроскопия)
- C, H, N, O, S – анализ природных и синтетических материалов
- определение концентрации ионов различных металлов в воде, продуктах питания, медицинских препаратах, продукции животноводства, растениеводства и других материалах
- получение новых знаний о строении молекул и молекулярных комплексов
- развитие методических основ молекулярного и атомного спектрального анализа металлов, сплавов, косметики, лекарственных препаратов и т. п.
- оказание консультативной помощи в постановке спектроскопических исследований и интерпретации их результатов
- проведение семинаров по вопросам применения современных аналитических методов исследования вещества

Центр аналитических и спектральных измерений аккредитован на  
соответствие требованиям СТБ ИСО / МЭК 17025-2007



# Спектрометры

## ИК-Фурье спектрометр NEXUS с ИК-микроскопом Continuum

### Назначение:

измерение ИК спектров поглощения и отражения, исследование структуры веществ, определение примесей, контроль чистоты вещества в различных агрегатных состояниях, многокомпонентных газовых смесей.

### Технические характеристики спектрометра:

- спектральный диапазон от 6400 до 50  $\text{см}^{-1}$
- разрешение выше 0.1  $\text{см}^{-1}$



### Технические характеристики приставки:

- зеркальное отражение 20°, 70° и 80°
- диффузное отражение
- НПВО
- для микрообразцов

### Технические характеристики микроскопа:

- спектральный диапазон от 4000 до 650  $\text{см}^{-1}$
- детектор МСТА
- объективы 15 $\times$  (инфракрасный)  
10 $\times$ , 20 $\times$ , 40 $\times$  (видимый)

### Серия спектрометров предназначенных для:

определение элементного состава, а также концентрации ионов различных металлов в воде, продуктах питания, продукции животноводства, растениеводства и других материалах.

## ICP спектрометр

### Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой IRIS Intrepid II, модель XDL

### Технические характеристики:

- спектральный диапазон от 165 до 1050 нм
- пределы обнаружения As, Se 0.06  $\mu\text{г}/\text{дм}^3$
- Be, Cd, Sr 0.21  $\mu\text{г}/\text{дм}^3$
- Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, Na 0.11  $\mu\text{г}/\text{дм}^3$



# Спектрометры

## ICP спектрометр с масс-спектрометрическим детектором

### Технические характеристики:

- пределы обнаружения для некоторых изотопов по критерию 3 сигма, (ppt):

$^{7}\text{Li}$ - 0.005	$^{55}\text{Mn}$ - 0.4	$^{59}\text{Co} < 1$
$^{23}\text{Na}$ - 0.3	$^{56}\text{Fe}$ - 0.3	$^{60}\text{Ni} < 10$
$^{24}\text{Mg}$ - 0.01	$^{9}\text{Be} < 1$	$^{65}\text{Cu} < 5$
$^{39}\text{K}$ - 0.8;	$^{27}\text{Al} < 4$	$^{66}\text{Zn} < 5$
$^{40}\text{Ca}$ - 0.7	$^{51}\text{V} < 1$	$^{75}\text{As} < 5$
$^{52}\text{Cr}$ - 0.1	$^{52}\text{Cr} < 5$	$^{78}\text{Se} < 100$



## Спектрометр атомно-абсорбционный Spectra AA 220/FS

### Технические характеристики:

- диапазон измерений спектров от 200 до 850 нм
- пределы обнаружения

Be, Cd	0.0001 мг/дм <sup>3</sup>
As	0.005 мг/дм <sup>3</sup>
Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn	0.001 мкг/дм <sup>3</sup>
Fe	0.04 мг/дм <sup>3</sup>
Al, Ba	0.01 мг/дм <sup>3</sup>



# Спектрометры

## C, H, N, O, S-анализатор VARIO EL III-ELEMENTAR

### Назначение:

- определение содержания углерода, водорода, азота, кислорода и серы в образцах органического происхождения
- определение качества медпрепаратов, лекарственного сырья
- идентификация вещества

### Технические характеристики:

- |                        |                  |
|------------------------|------------------|
| - температура сжигания | 1150°C           |
| - газ-носитель         | гелий            |
| - навеска              | от 0.03 до 30 мг |
| - точность             | 0.1 %            |
| - скорость анализа     | от 12 до 15 мин  |



## Спектрофотометр Сагу-500

### Назначение:

измерение спектров поглощения, пропускания и отражения, исследование структуры, состава, примесей различных веществ, определение концентрации активатора в растворах и стеклах.

### Технические характеристики:

- спектральный диапазон  
от 190 до 3300 нм
- программируемая щель с шагом  
от 0.01 до 5 нм (УФ, видимый)  
от 0.04 до 20 нм (ИК)
- максимальная скорость сканирования  
до 2000 нм/мин. (УФ, видимый)  
до 8000 нм/мин. (ИК)
- погрешность установки длин волн  
 $\pm 0.1$  нм (УФ, видимый)  
 $\pm 0.4$  нм (ИК)



# Мобильный лазерный спектральный анализатор

Мобильный лазерный спектральный анализатор (МЛСА) предназначен для качественного и количественного элементного анализа различных твердых образцов – металлов, сплавов, руд, керамики, полупроводников, кристаллов, почв и т.д. Основа анализа – атомная эмиссионная спектроскопия лазерно-индукционной плазмы, создаваемой вблизи поверхности образца сфокусированным лазерным лучом высокой плотности (метод больше известен как LIBS).



## Отличительные особенности и преимущества:

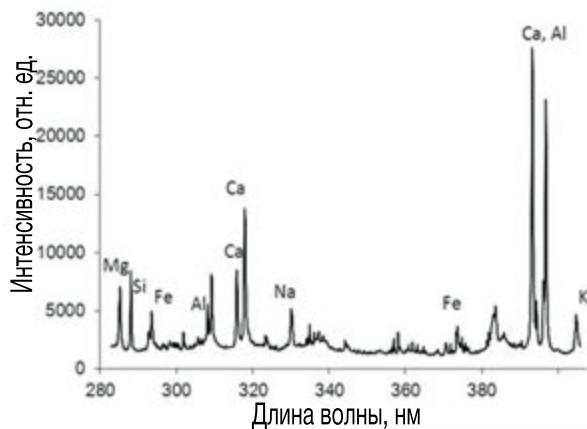
Прибор подходит как для исследовательских, так и для промышленных применений (анализа в металлургии, машиностроении и т.д.).

## Изготовление на заказ.

Оптимизация ПО и методики измерений под задачи заказчика.

## Технические характеристики:

2-канальный твердотельный лазер с диодной накачкой:	
- длина волны	1064 нм
- макс. энергия импульса	63 мДж
- макс. частота следования импульсов	10 Гц
- полуширина импульса	10 нс
- область поражения	< 2 мм
- время непрерывной работы	8 ч
- масса	17 кг
- макс. потребляемая мощность	< 1000 Вт



Республиканское унитарное предприятие  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ»  
(БелГИМ)  
Republican unitary enterprise «Belarussian state institute of metrology» (BelGIM)



## Свидетельство о калибровке Calibration certificate



Номер свидетельства BY 01 №257-50      Дата калибровки 07 июля 2014      Страница 1 из 2  
Certificate number      Date when calibrated      Page 1 of 2

Лазерный спектральный анализатор ЛСА №01  
Объект калибровки non calibrated

Использование эталона / средства измерения / калибрования  
Проверка / measurement of standard / measuring equipment / identification

Заказчик  
Customer

Институт физики НАН Беларусь, г. Минск, пр. Независимости 68

Информация о заказчике, адрес  
Name of the customer, address

Калибровочное клеймо-наклейка № 024936  
Calibration mark

серийный номер  
serial number

Метод калибровки МРПМК 100055197.130-2010. «Спектрометры атомно-эмиссионные»,  
метод сравнения с морем

Calibration method Comparison method / identification  
Name of the method / identification

Все измерения можно проводить только в единицах Международной системы SI, которые установлены в национальных масштабах БелГИМ.  
Любые измерения можно проводить только в единицах БелГИМ. Любые измерения или частичные измерения несут  
ответственность за техническими параметрами БелГИМ, выдавшего сертификат.

All measurements are traceable to the SI units defined by national measurement standards of BelGIM.

This certificate shall not be reproduced without the written permission of the organization which issued it.

Начальник отдела

И. В. Кашин

Signature

MP

Дата выдачи 07.07.2014

Date of issue

## Система регистрации:

- дифракционный спектрометр + ПЗС
- ПО для количественного и качественного анализа
- спектральный диапазон 200 - 1000 нм
- спектральное разрешение 0.014 нм



# НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Центр специализируется на изготовлении высококачественных прецизионных оптических компонентов и оптико-механических узлов с использованием различных оптических материалов, включая кварцевое стекло, стекло-керамику Ситалл и ZERODUR, кристаллы алюмо-иттриевого граната Nd:YAG, лейкосапфир ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),  $\text{CaF}_2$ , LiF, шпинель и другие.

**Научно-производственный центр оптико-электронного приборостроения производит:**

- линзовую оптику
- оптические фильтры, диэлектрические зеркала, светоделители, просветляющие покрытия
- лазерную оптику
- ахроматы, триплеты, расширители пучка
- поляризационную оптику
- кристаллическую оптику
- микрооптику
- высокоточные окна и клинья
- оптические элементы и механические узлы по чертежам заказчика



### **Оказываем услуги:**

- по юстировке оптических систем и приборов
- по контролю качества сборки объективов и телескопических насадок
- по метрологическому контролю качества оптической поверхности
- по измерению и контролю профиля и шероховатости поверхности

### **Достигаемые технические характеристики:**

- диаметр деталей	5 – 250 мм
- класс чистоты поверхности	2
- шероховатость поверхности	до 2 Å
- точность поверхности	N = 0.2
- допуск на линейные размеры	± 0.01 мм
- допуск на угловые размеры	до ± 1 угл. сек.
- допуск на параллельность	± 1 угл. сек.
- спектральный диапазон наносимых покрытий	360 – 2000 нм

Контроль качества производится на всех этапах производства с использованием таких современных средств измерения, как интерферометр ZIGO GPI XP (рабочий диаметр до 150 мм), гoniометр MÖLLER-WEDEL Goniomat M, профилометр SURFCOM CREST, спектрофотометр PHOTON RT и другие.

Все оптические компоненты сопровождаются протоколом измерения.

Производство оснащено современными металлообрабатывающими центрами с ЧПУ, позволяющими осуществлять высокоточную токарную и фрезерную обработку. Готовы работать с заказами малого объема (менее 100 ед). Центр оказывает услуги по разработке 3D моделей сложных деталей, поиску и оформлению конструкторских решений по сборке сложных деталей, приборов.



## Возможности центра:



Технологический процесс полирования оптических деталей на станках 4ПД-200



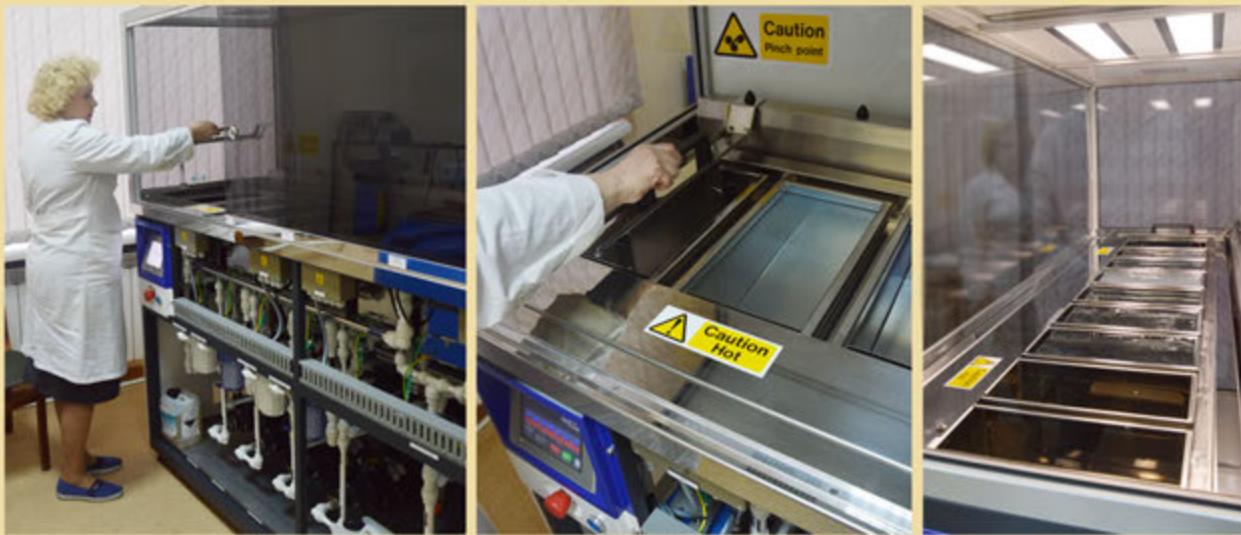
Токарно-фрезерный металлообрабатывающий центр ST-10Y фирмы «HAAS»

Фрезерный металлообрабатывающий центр с ЧПУ DM-1 фирмы «HAAS»



Процесс вакуумного напыления оптического покрытия на установках Ortus и Aspire

Процесс обработки заготовки оптической детали на круглошлифовальном станке RSM500A



Технологический процесс технической мойки заготовок перед нанесением оптического покрытия на установке автоматической мойки USC120 Optimal Technologies

### **Прецизионные измерения, контроль и анализ профиля и шероховатости поверхности на профилометре ACCRETECH Surfcom Crest**

Центр оказывает услуги по метрологическому контролю качества поверхности с оформлением протокола измерения. Контроль проводится на современном высокоточном автоматизированном профилометре ACCRETECH Surfcom Crest производства корпорации ZEISS. Прибор аттестован и занесен в госреестр средств измерений РФ.



#### **Отличительные особенности:**

- модель с наивысшей точностью в своем классе оборудования
- измерительная система разработана на основе высокостабильного лазерного интерферометра, имеющего конструкцию на основе оптоволокна и разрешение 0,31 нм
- Surfcom Crest отличается динамическим диапазоном коэффи. разрешения 42,000,000:1, что означает, что при измерении профиля контура можно оценить как широкий диапазон, так и компактные высокоточные поверхности
- контроль профиля и шероховатости во время одного измерения
- система анализа топографии поверхности
- эффективность измерений за счет совмещения решений двух задач в одном измерительном блоке. Одно измерение – два отчета
- широкий измерительный диапазон 200 мм (горизонтальное перемещение) и 13 мм (вертикальное перемещение)
- моторизованное приводное устройство позволяет осуществлять наклон до 45° для гибкости измерительной системы

# Разработки центра

## Высокоточные призмы и призменные блоки

- прямоугольные призмы
- призмы Дове
- пентапризмы
- триптель-призмы
- многоугольные призмы  
сложной формы
- призменные блоки



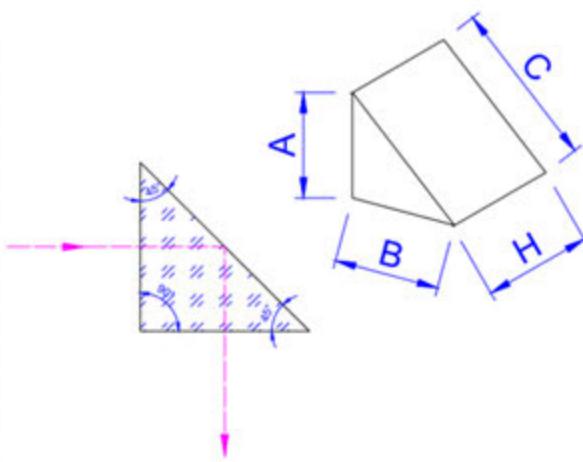
### Технические характеристики

Габариты обрабатываемых деталей, мм	5 – 150
Материал	КУ-1 или К8
Допуск на линейные размеры, мм	$\pm 0.01$
Допуск на угловые размеры, угл. сек.	$\pm 0.5$
Допуск на пирамидальность, угл. сек.	$\pm 1$
Класс чистоты поверхности	2
Шероховатость поверхности, Å	до 4
Точность поверхности	$N = 0.2$
Спектральный диапазон наносимых покрытий, нм	360 – 2000

### Прямоугольные призмы

Применяется для поворота оптической системы на  $90^\circ$  и разворота изображения на  $180^\circ$  в одной плоскости. При нанесении на гипотенузу светоделительного покрытия призма служит для разделения пучка лучей на две части.

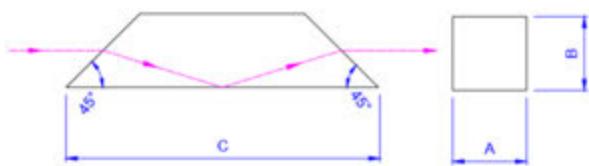
A = B, мм	H, мм	Материал	Обозначение
5	5	K8	RAP5-BK7
5	5	КУ-1	RAP5-UVFS
8	8	K8	RAP8-BK7
8	8	КУ-1	RAP8-UVFS
10	10	K8	RAP10-BK7
10	10	КУ-1	RAP10-UVFS
12.7	12.7	K8	RAP12.7-BK7
12.7	12.7	КУ-1	RAP12.7-UVFS
15	15	K8	RAP15-BK7
15	15	КУ-1	RAP15-UVFS
25.4	25.4	K8	RAP25.4-BK7
25.4	25.4	КУ-1	RAP25.4-UVFS



## Призмы Дове

Это обворачивающая призма, которая, не меняя направления проходящего через неё параллельного пучка лучей, даёт зеркальное изображение предмета. Может также использоваться в качестве ретрорефлектора и компенсатора поворота изображения.

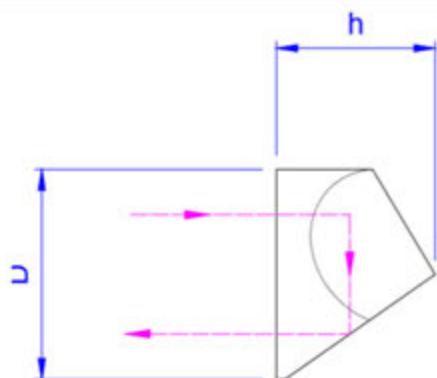
A = B, мм	H, мм	Материал	Обозначение
5	5	K8	DV5-BK7
5	5	KU-1	DV5-UVFS
10	10	K8	DV10-BK7
10	10	KU-1	DV10-UVFS
15	15	K8	DV15-BK7
15	15	KU-1	DV15-UVFS
20	20	K8	DV20-BK7
20	20	KU-1	DV20-UVFS



## Трипель-призмы

Призма отражает пучок к источнику независимо от её ориентации и используется как ретрорефлектор.

D, мм	h, мм	Материал	Обозначение
8	6.5	K8	RRP8
15	11.5	K8	RRP15
25.4	19	K8	RRP25.4
38	28.5	K8	RRP38
50.8	37.5	K8	RRP50.8



Изготовление других типов и размеров призм и блоков также возможно по согласованным требованиям.



# Разработки центра

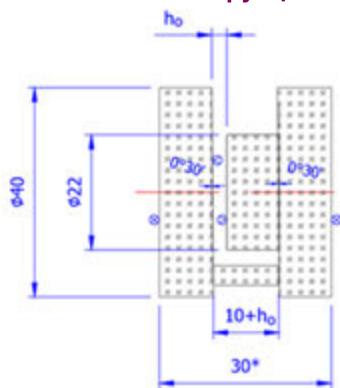
## Эталоны Фабри - Перо

Эталоны применяются в качестве селектирующих элементов резонаторов лазеров для сужения и перестройки полосы излучения, а также в качестве диспергирующих элементов спектральных приборов высокого разрешения. Эталон состоит из двух кварцевых пластин, разделенных воздушным промежутком. Пластины отполированы с высокой плоскостью ( $\lambda/20$ ) и имеют форму клина, чтобы устранить блики. Между пластинами устанавливается промежуточное кольцо из кварца, обеспечивающее точный воздушный зазор.

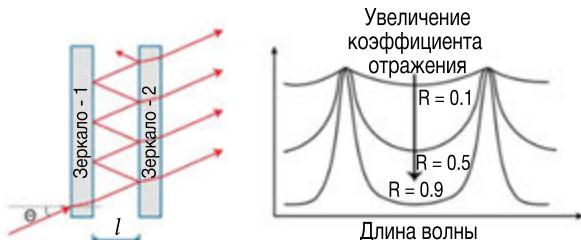
### Технические характеристики:

- точность габаритных размеров	+0/-0.1 мм
- точность интерферометрических поверхностей	N = 0.1
- класс чистоты поверхностей	2
- непараллельность в интерферометрическом зазоре	$\pm 1$ угл. сек.
- коэффициент отражения зеркал	80 – 85 %

### Типовая конструкция



Распределение интенсивности в проходящем свете  
в зависимости от порядка интерференции:



Ширина области дисперсии эталона Фабри-Перо определяется из условия наложения кольца  $(m+1)$ -го порядка для длины волны и кольца  $m$ -го порядка для длины волны  $\lambda + \Delta\lambda$ :  $\Delta\lambda \approx \lambda_2 / 2h_0$

### Технические характеристики

Обозначение	Световой диаметр, мм	Полный диаметр, мм	Длина, мм	База интерферометра $h_0$ , мкм	Спектральная область, нм
FPE-40-6	20	40	30	6	540 – 700
FPE-40-146	20	40	30	146	540 – 700
FPE-40-2.4	20	40	30	2400	540 – 700

Другие размеры и параметры также могут быть рассмотрены и изготовлены по согласованию сторон.



## Четвертьволновые и полу волновые фазовые пластиинки нулевого и множественного порядка

Четвертьволновые и полу волновые фазовые пластиинки нулевого и множественного порядка используются для преобразования состояния поляризации светового луча за счет сдвига фаз между двумя перпендикулярными поляризационными компонентами падающего света.

**Четвертьволновая пластина** обеспечивает фазовый сдвиг в четверть длины волны и меняет линейную поляризацию на круговую и наоборот.

**Полуволновая пластина** создает фазовый сдвиг в половину длины волны и вращает направление поляризации линейно поляризованного света.

### Технические характеристики:

- диаметр без оправы	10 – 25 мм
- диаметр с оправой	12.7 – 30.0 мм
- материал подложки	кварц монокристаллический
- рабочая длина волны	360 – 1700 нм
- точность поверхности	N = 0.2
- класс чистоты поверхности	2 – 3
- допуск на разность фаз	$\lambda/500$

Все оптические компоненты сопровождаются протоколом измерения.



## Высокоточная полировка лазерных кристаллов

### Изготовление оптики из следующих кристаллических материалов:

- кристаллов алюмо-иттриевого граната Nd:YAG
- лейкосапфира ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- фтористого кальция  $\text{CaF}_2$
- фтористого лития  $\text{LiF}$
- фтористого магния  $\text{MgF}_2$
- кристаллического кварца
- шпинеля

Конфигурация оптических компонентов и технические требования - в соответствии с требованиями заказчика. Все оптические компоненты сопровождаются протоколом измерения

### Технические характеристики:

- диаметр обрабатываемых деталей	5 – 50 мм
- класс чистоты поверхности	2
- шероховатость поверхности	до 4 Å
- точность поверхности	N = 0.2
- допуск на линейные размеры	$\pm 0.01$ мм
- допуск на угловые размеры	до $\pm 1$ угол. сек.
- допуск на параллельность	$\pm 1$ угол. сек.
- спектральный диапазон наносимых покрытий	360 – 2000 нм



# Разработки центра

## Цилиндрическая оптика

### Цилиндрические линзы:

- плоскофокальные
- плосковогнутые
- двояковыпуклые
- двояковогнутые

Цилиндрическая положительная линза фокусирует пучок только по одной координате.

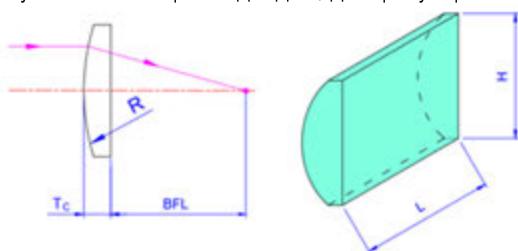
Цилиндрическая отрицательная линза рассеивает пучок только по одной координате.



Цилиндрические линзы используются для фокусировки света в линию для эффективной генерации гармоник в нелинейных кристаллах, лазерных сканерах, спектроскопии, лазерах на красителях, акустооптике и других приложениях. Они незаменимы при создании сферической формы пучка, излучаемого лазерным диодом, для фокусировки лучей на линейные детекторы или входные щели приборов.

Линзы выпускаются с оптическим покрытием на заданную область спектра.

Материалом подложки линз служат бесцветные стекла групп крон и флинт, кварцевое стекло, кристаллы  $\text{CaF}_2$  и другие материалы.



### Технические характеристики:

- точность габаритных размеров	+0/-0.1 мм	- точность центрировки	< 1 угл. мин.
- точность поверхности	$N = 0.1$	- класс чистоты поверхности	3

Обозначение для заказа	Размеры $H \times L$ , мм	Световой диаметр, мм	Толщина $T_c$ , мм	Фокусное расстояние, мм	Материал линзы
PCXCYL-1-20-26	20 × 20	18 × 18	6.5	26.5	N-BK7
PCXCYL-2-20-26	20 × 20	18 × 18	4	30	UVFS
PCXCYL-1-20-50	20 × 20	18 × 18	4	50	N-BK7
PCXCYL-2-20-50	20 × 20	18 × 18	4	50	UVFS
PCXCYL-1-20-75	20 × 20	18 × 18	4	75	N-BK7
PCXCYL-2-20-75	20 × 20	18 × 18	4	75	UVFS
PCXCYL-1-20-100	20 × 20	18 × 18	4	99.6	N-BK7
PCXCYL-2-20-100	20 × 20	18 × 18	4	99.6	UVFS
PCXCYL-1-35-150	35 × 35	32 × 32	5	150.8	N-BK7
PCXCYL-2-35-150	35 × 35	32 × 32	5	150.8	UVFS
PCXCYL-1-20-26	20 × 20	18 × 18	3	-26.5	N-BK7
PCXCYL-2-20-26	20 × 20	18 × 18	3	-26.5	UVFS
PCXCYL-1-20-50	20 × 20	18 × 18	3	-50	N-BK7
PCXCYL-2-20-50	20 × 20	18 × 18	3	-50	UVFS

Другие размеры и параметры также могут быть рассмотрены и изготовлены по согласованию сторон.

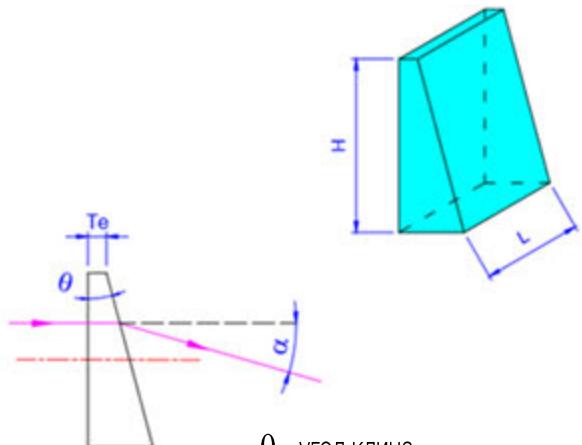
## Оптические клинья

Оптические клинья применяют для получения и измерения малых углов отклонения луча, также клинья полезны в приборах, где используется когерентный свет для устранения нежелательных интерференционных эффектов, которые могут иметь место в плоскопараллельных пластинах.



### Технические характеристики:

- точность габаритных размеров +0/-0.1 мм
- угловая погрешность < 30 угл. сек.
- точность поверхности N = 1
- класс чистоты поверхности 3
- материал подложки K-8 (N-BK-7)



θ - угол клина  
α - угол отклонения луча

Материалом подложки линз служат бесцветные стекла групп крон и флинт, кварцевое стекло, кристаллы CaF<sub>2</sub> и другие материалы.

Обозначение для заказа	Размеры H × L, мм	Световой диаметр, мм	Толщина на краю T <sub>e</sub> , мм	Угол клина θ, угл. град.	Расчётная длина волны λ, мкм	Угол отклонения α, угл. град.
WP-20-0.5	20 × 20	18 × 18	1.5	1° 56'	632.8	0.5°
WP-20-2.0	20 × 20	18 × 18	1.5	3° 52'	632.8	2°
WP-20-4.0	20 × 20	18 × 18	1.5	7° 41'	632.8	4°
WP-20-6.0	20 × 20	18 × 18	1.5	11° 21'	632.8	6°
WP-20-10	20 × 20	18 × 18	1.5	14° 51'	632.8	10°

Другие размеры и параметры, а также материал подложки могут быть рассмотрены и изготовлены по согласованию сторон.

Спектральный диапазон наносимых покрытий: 360 – 2000 нм.