

# **Эксперименты на лазере на свободных электронах в 2020 году**



***Б.А. Князев  
от имени команды ЛСЭ***

***Научная сессия ИЯФ СО РАН, 4 февраля 2021***

# Команда ЛСЭ и пользователи



**И. А. Азаров, А. В. Балакин, А. В. Брагин, С. Л. Вебер, Н. А. Винокуров,  
М. Г. Власенко, А. В. Водопьянов, В. В. Герасимов, Я. И. Горбачев,  
Я. В. Гетманов, Р. Х. Жукавин, О. Е. Камешков, Б. А. Князев, П. В. Кошляков,  
М. С. Комленок, Т. В. Кононенко, И. А. Котельников, С. Е. Краснопевцев,  
В. В. Кубарев, Л. В. Куйбида, В. Д. Кукотенко, Г. Н. Кулипанов, А. С. Матвеев,  
Л. Э. Медведев, А. Р. Мельников, А. К. Никитин, П. А. Никитин, Н. Д. Осинцева,  
В. С. Павельев, С. Е. Пельтек, В. М. Попик, Т. В. Саликова, С. С. Середняков,  
А. В. Сидоров, Д. А. Скороход, А. Н. Скринский, П. М. Солянкин, И. Ш. Хасанов,  
Е. Н. Чесноков, Ю. Ю. Чопорова, В. Н. Шастин, О. А. Шевченко, А. П. Шкуринов,  
М. А. Щеглов**

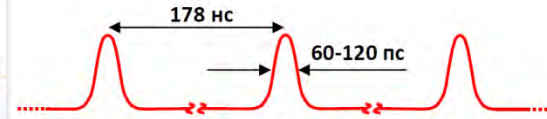


# НЛСЭ с тремя лазерами и рабочими станциями

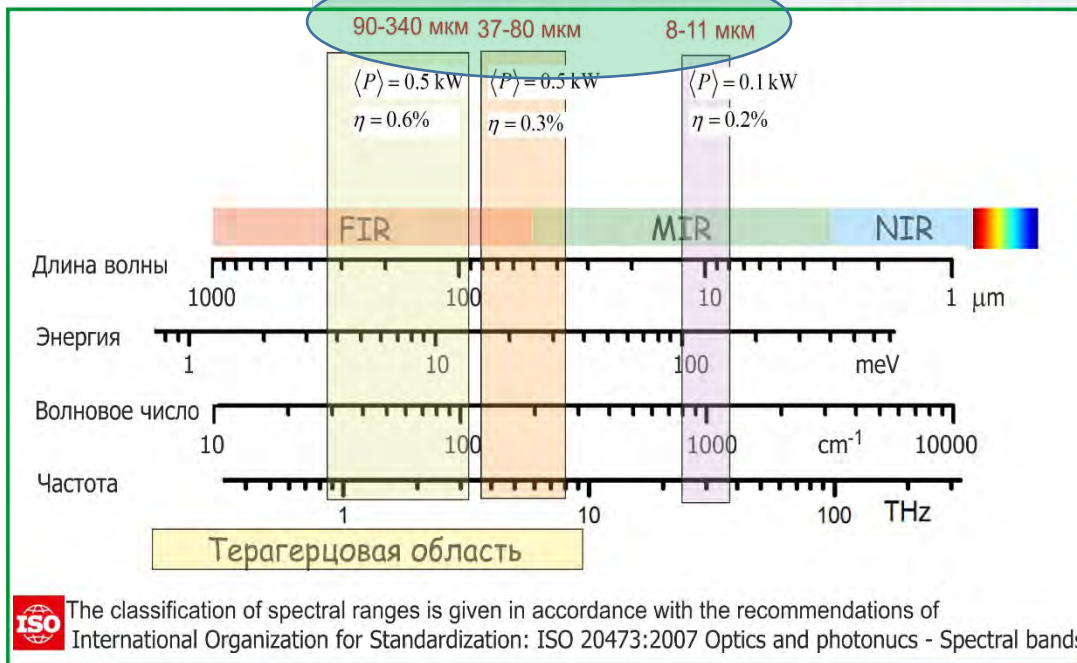
Секция  
транспортного  
канала



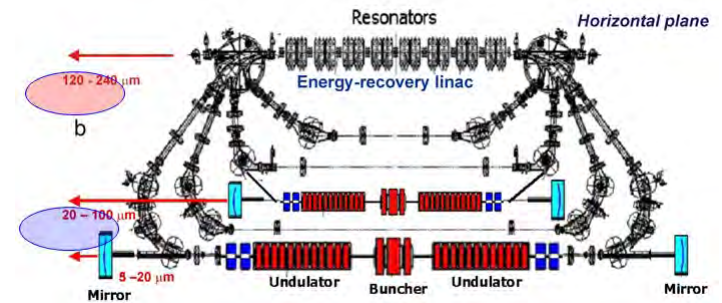
Beamline with 11 outlets to workstations  
Total length of the beamline is 120 m



Секция вывода  
лазерных пучков в  
транспортный канал

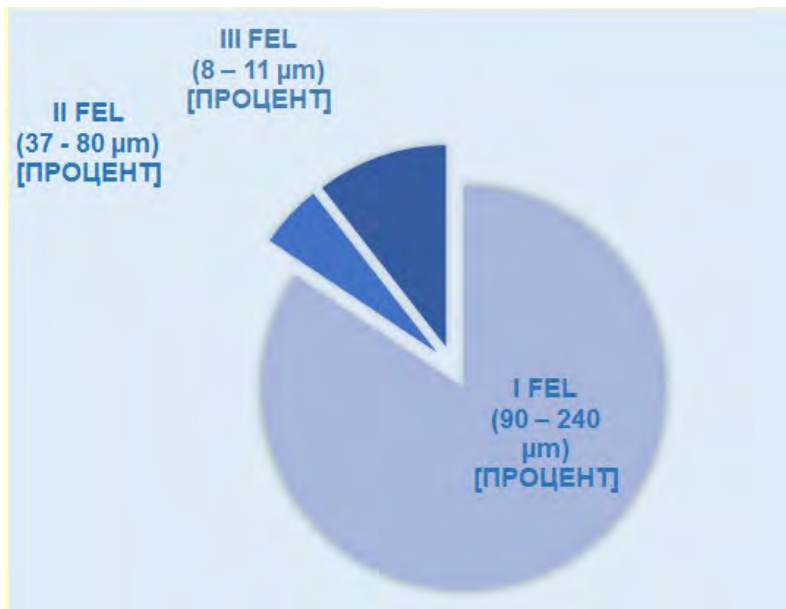


Multiturn energy recovery linac  
with three individual laser systems





# Статистика работ на ЛСЭ и рабочих станциях



- Всего часов работы ..... 2220
- Пользователи на станциях ..... 1137
- Третья очередь ..... 124
- Профилактика ..... 64

1. Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск
2. Новосибирский госуниверситет, Новосибирск
3. Институт химической кинетики СО РАН,  
Новосибирск
4. Томоцентр СО РАН, Новосибирск
5. Институт физики полупроводников СО РАН,  
Новосибирск
6. Институт прикладной физики РАН, Нижний  
Новгород
7. Институт физики микроструктур РАН,  
Нижний Новгород
8. Самарский университет, Самара
9. Институт систем обработки изображений РАН,  
Самара
10. Институт общей физики РАН, Москва
11. Научно-технологический центр уникального  
приборостроения РАН, Москва
12. МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва
13. ИПЛИТ РАН - филиал ФНИЦ "Кристаллография  
и фотоника" РАН, Шатура
14. Институт общей физики РАН, Москва
15. Redboud University, the Netherland

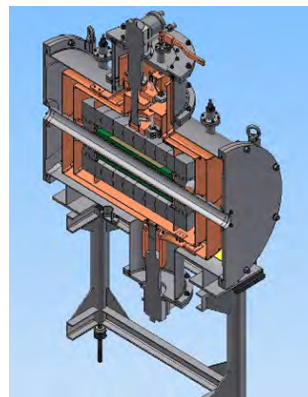
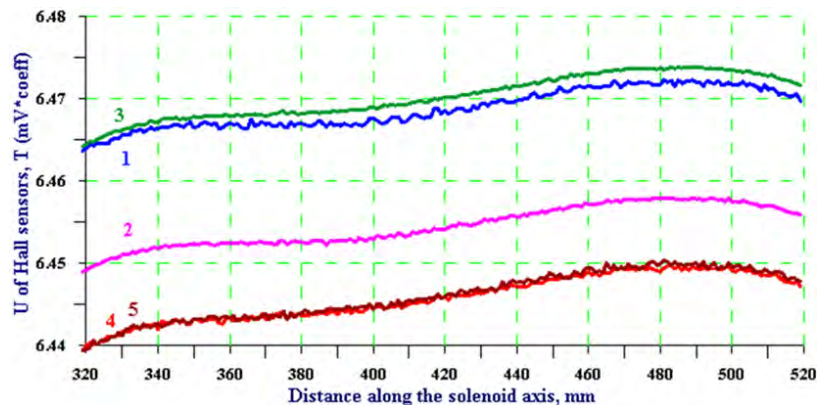
В том числе, ведутся работы по четырём грантам РНФ по мероприятию «Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня»

## Оснащение рабочих станций

- Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск
  - Новосибирский государственный университет
- Международный томографический центр СО РАН, Новосибирск
  - Самарский университет
  - Институт общей физики РАН, Москва
- Институт систем обработки изображений РАН, Самара
- Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва
  - МГУ им. Ломоносова

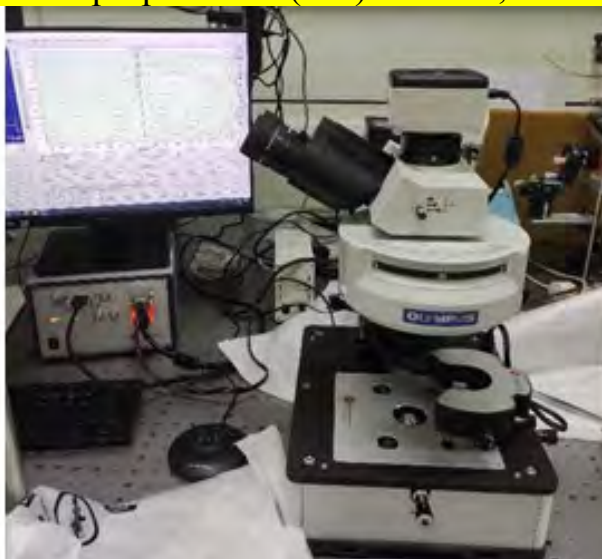
# Сверхпроводящий соленоид для экспериментов в магнитном поле

В соленоиде получено магнитное поле 6.45 Тл с равномерностью 0.25% в объёме длиной 0.2 м и диаметром 50 мм



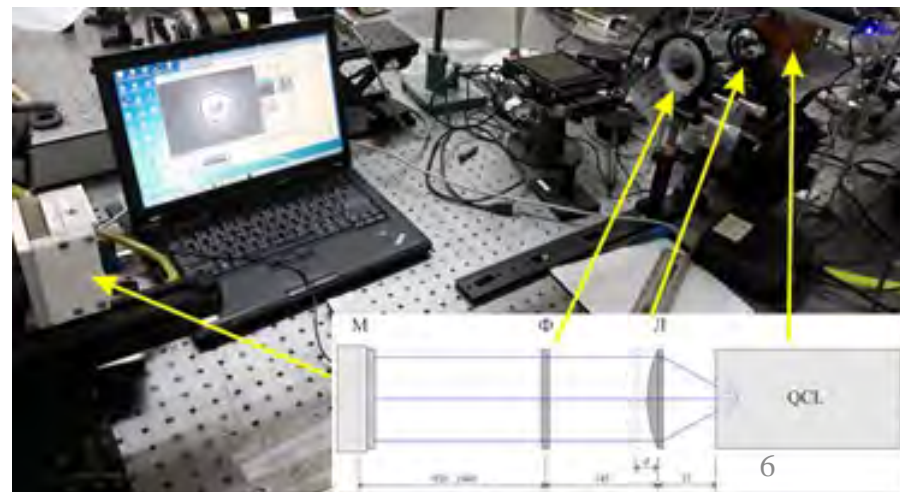
# Атомный силовой микроскоп (грант ЦКПТ)

Certus Optic VU, резонансная частота 30 kHz (Y),  
пространственное разрешение (XY) <0.1 нм, <0.01 нм (Z)

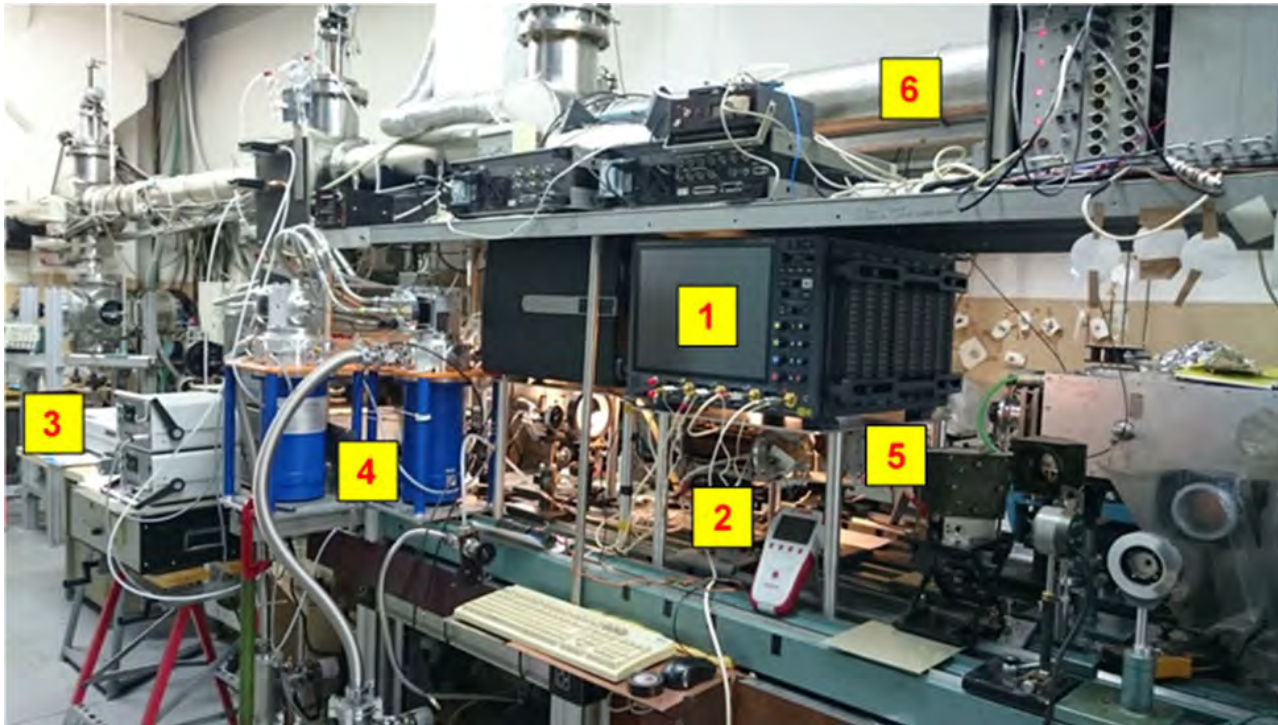


# Квантовый каскадный лазер (НГУ)

Alpes Lasers RT-CW-FP-QCL-100-s с длиной волны  
8.45 мкм, непрерывная генерация с мощностью до  
80 мВт



# Криогенные сверхпроводящие болометры и сверхбыстрый осциллограф прямого действия (грант ЦКП)



**4 – Сверхпроводящие наносекундные высокочувствительные болометры на криокуллерах (фирма Scontel, Россия)**

Предназначены для измерения быстрых слабых сигналов излучения.

Используются в экспериментах по быстрой фотохимии и в диагностике излучения НЛСЭ.

**1 – Сверхбыстрый (59 ГГц) осциллограф прямого действия UXR0594AP (фирма Keysight Technologies , США)**

Используется в сверхбыстрой спектроскопии во временной моде (time-domain), в том числе сверхбыстрой молекулярной терагерцовой спектроскопии и диагностике излучения НЛСЭ.



# Резонансный Фабри-Перо интерферометр сверхвысокого разрешения



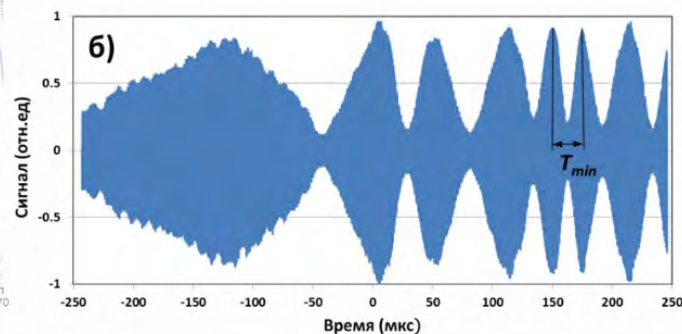
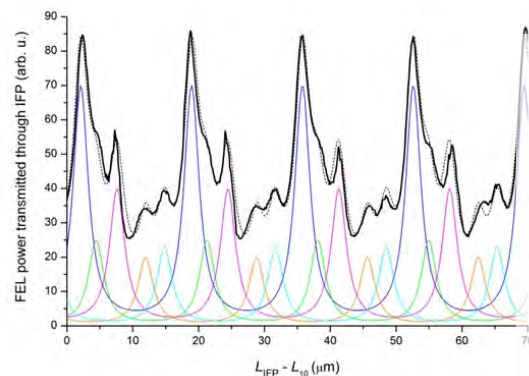
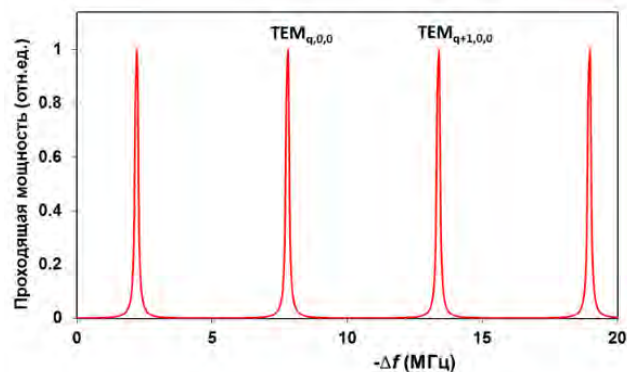
Сверхдлинный вакуумный волноводный резонансный интерферометр Фабри-Перо – модернизированный оптический резонатор универсального газового лазера

Предназначается для измерения тонкой и сверхтонкой структуры излучения НЛСЭ

Спектральное разрешение:

- а) в частотном режиме –  $5 \cdot 10^{-8}$
- б) во временном режиме – нет практических ограничений

Измерение монохроматичности линий сверхтонкой структуры излучения НЛСЭ во временном режиме ИФП (частота 11.2 МГц, интерференция двух импульсов в резонаторе)



Пример сверхтонкой структуры излучения НЛСЭ в одномодовом режиме на длине волны 164 мкм

Пример сверхтонкой структуры излучения НЛСЭ во многомодовом режиме на длине волны 337 мкм

Параметры монохроматичности НЛСЭ:

- |   |                     |
|---|---------------------|
| • Время когерентности:                          | $T_{min} = 25$ мкс  |
| • Среднее число когерентных выходных импульсов: | 140                 |
| • Длина когерентности:                          | 7 км                |
| • Монохроматичность сверхтонкой comb-структуры: | $2.2 \cdot 10^{-8}$ |

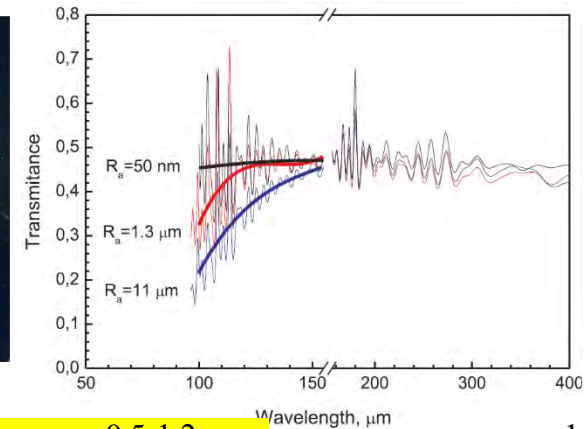
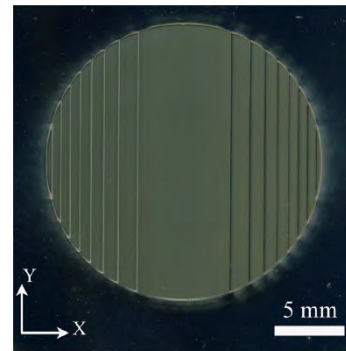
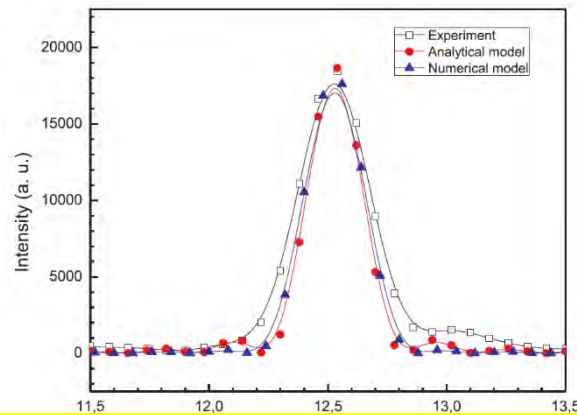
V. Kubarev et al., "Fine and Hyperfine Structure of FEL Emission Spectra", in 39th International Free Electron Laser Conference (FEL2019), 26-30 August 2019, Hamburg, Germany, DOI: 10.18429/JACoW-FEL2019-TUD03.  
[2] V.V. Kubarev, Ya.V. Getmanov, O.A. Shevchenko, "Radiation stability and hyperfine mode structure of the terahertz NovoFEL", AIP Conference Proceedings, SYNCHROTRON AND FREE ELECTRON LASER RADIATION: Generation and Application (SFR-2020), 020003 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0030503>.



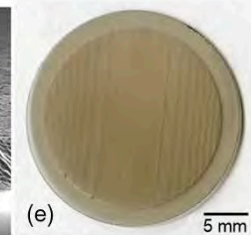
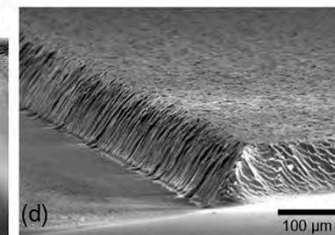
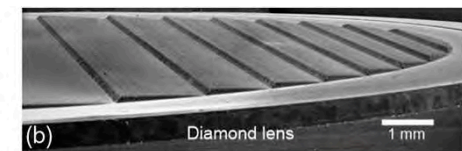
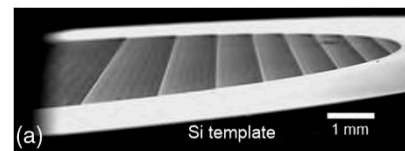
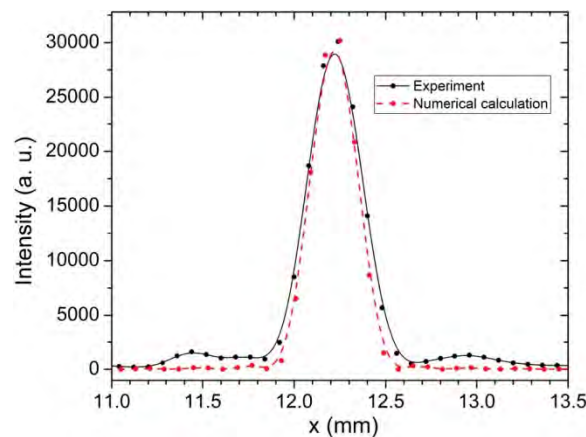
# Дифракционные элементы для управления лазерным излучением

- Новосибирский государственный университет
  - Самарский университет
    - Институт общей физики РАН, Москва
- Институт систем обработки изображений РАН, Самара
  - Институт ядерной физики, Новосибирск

# Многоуровневые кремниевая и алмазная дифракционные линзы, изготовленные с помощью лазерной абляции



Девятиуровневая френелевская линза из высокоомного кремния с шероховатостью 0.5-1.2 мкм изготовлена методом 1-п лазерной абляции излучением с длиной волны 1.03 мкм. При длине волны 141 мкм дифракционная эффективность линзы составила  $93 \pm 6\%$ . Глубина рельефа – 60 мкм! Т. Kononenko et al. [Optics & Laser Technology V. 123, 105935 \(2020\)](#)



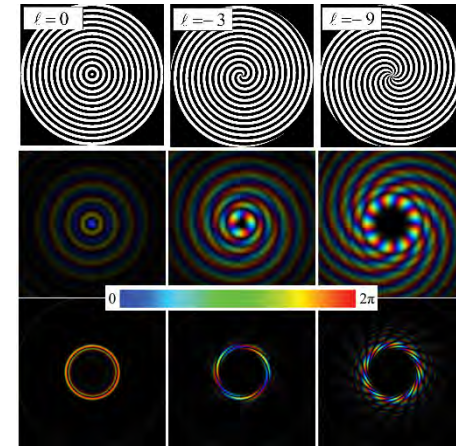
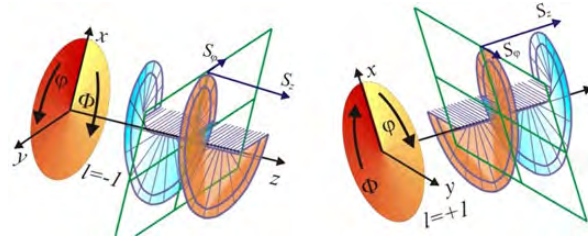
Четырёхуровневая френелевская алмазная линза изготовлена методом репликации путём осаждения паров углерода на изготовленный методом пикосекундной лазерной абляции кремниевый субстрат с инвертированным профилем поверхности. При длине волны 141 мкм дифракционная эффективность линзы составила  $95 \pm 5\%$ . Высокая теплопроводность, низкий показатель преломления. Глубина рельефа – 100 мкм!

[M. Komlenok et al. Optics Letters, V. 46, P. 340 \(2021\)](#)

# Дифракционные аксиконы трёх типов, «самовосстанавливающиеся» бесселевы вихревые пучки, «совершенные» пучки (Грант РФФИ 19-72-20202)



Helical binary axicon Helical kinoform axicon Holographic axicon

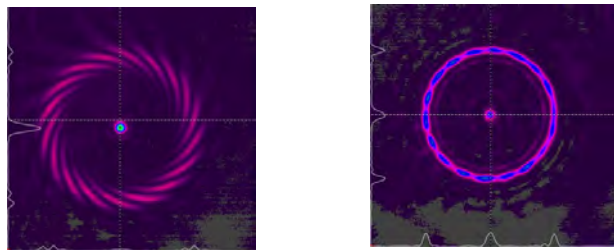


$l = +9$

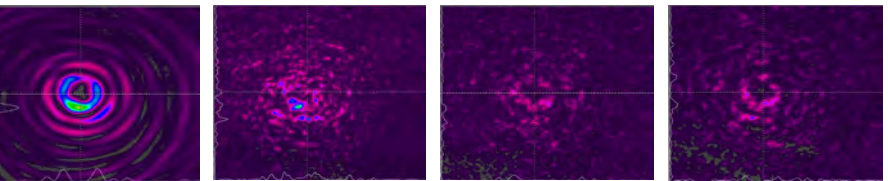
Bessel beam

Fourier image

0 2π

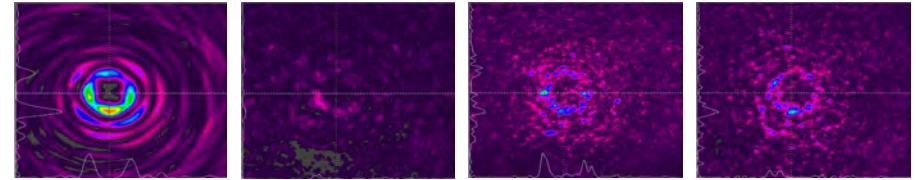


$l = 3$



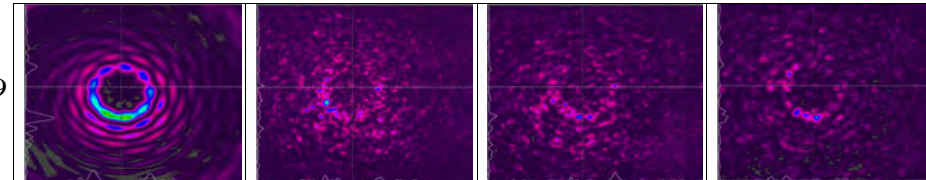
Входной пучок  $L = 30$  мм  $L = 40$  мм  $L = 60$  мм

$l = 4$



Входной пучок 80 мм 130 мм 140 мм

$l = 9$

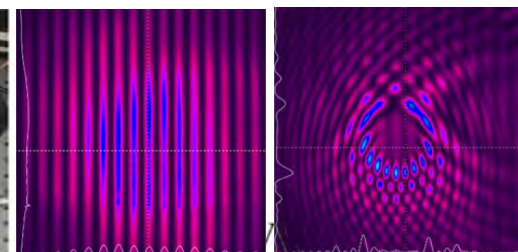
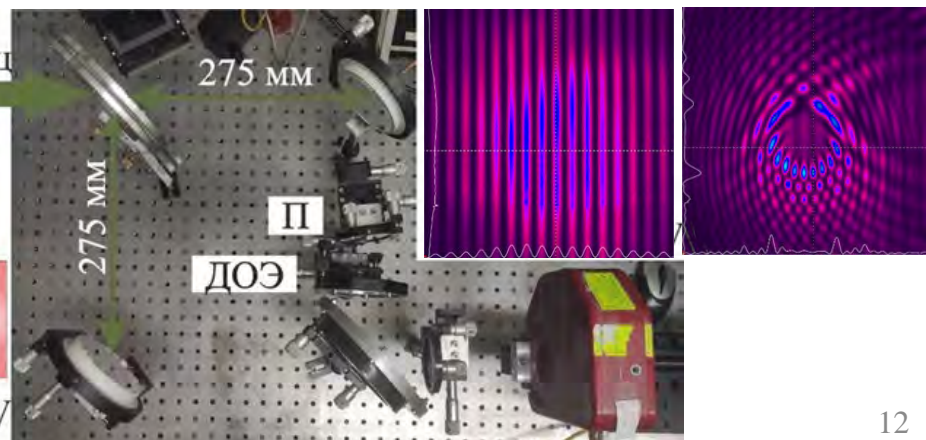
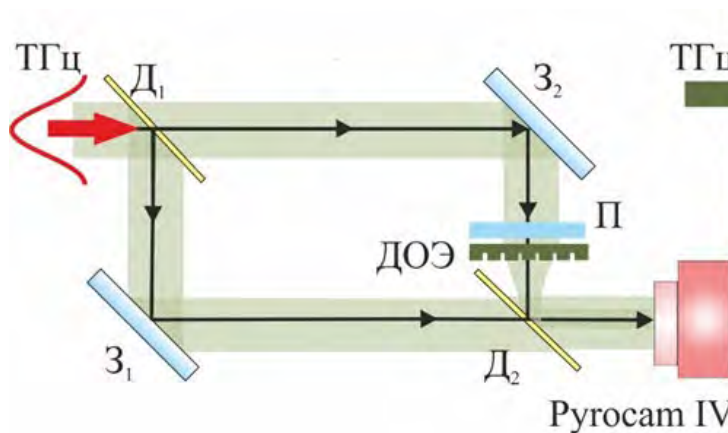
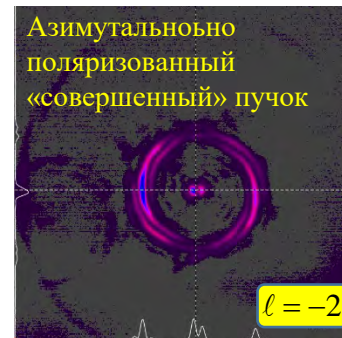
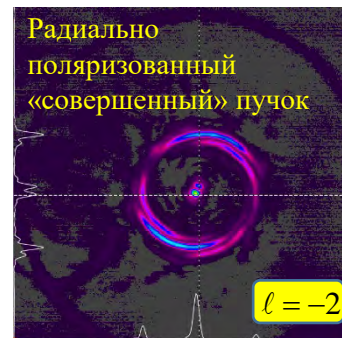
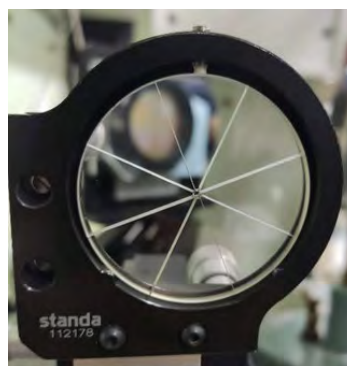
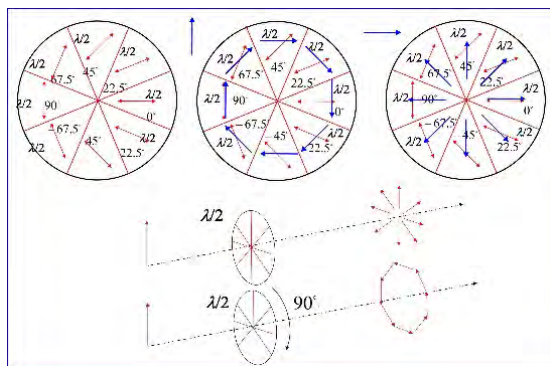
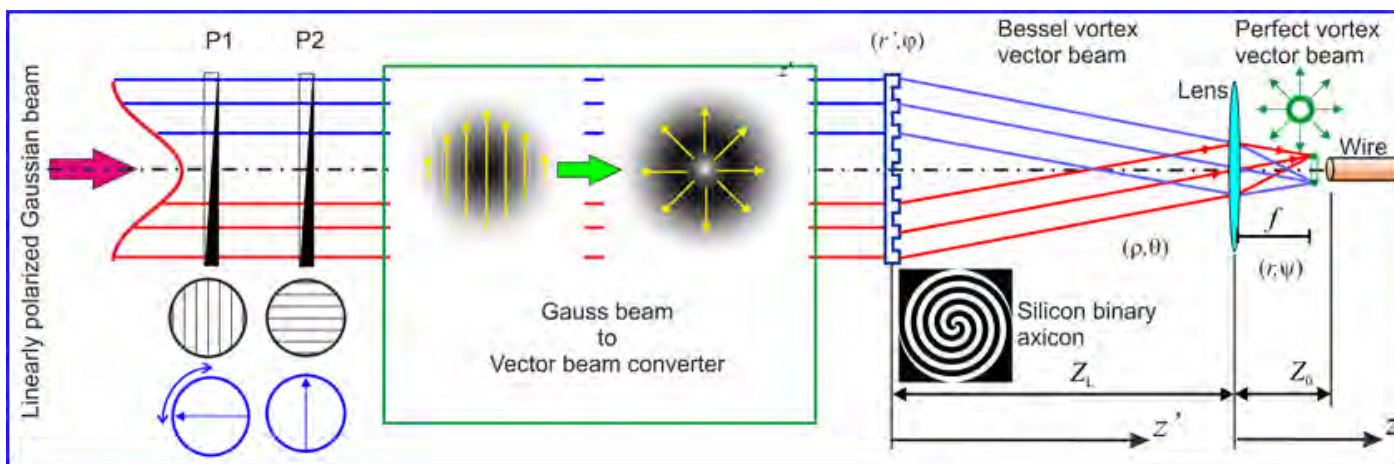


Входной пучок  $L = 40$  мм  $L = 55$  мм  $L = 65$  мм






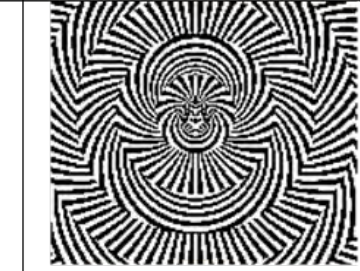
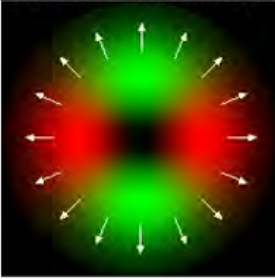
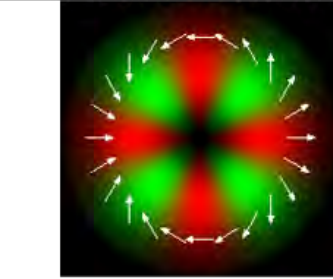
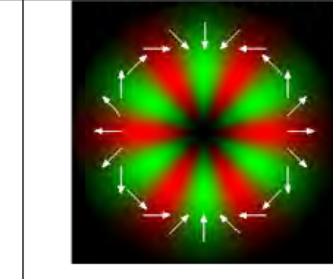
B. Knyazev et al. Applied Sciences, V. 11, P. 717 (2021)  
V. Paveleyev et al. Компьютерная оптика (2021), в печати.



# Радиально и азимутально поляризованные вихревые пучки



# Векторные пучки, создаваемые субволновыми бинарными аксиконами

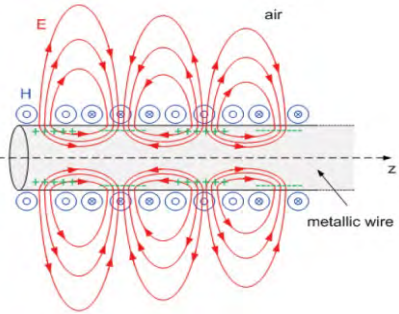
| Элемент  | 1-ого порядка  | 2-го порядка  | 3-го порядка   |
|--|--|---|--|
| Фото   |   |   |   |
| Фазовый профиль<br>вблизи<br>оптической оси  |   |   |   |
| Расчетное<br>распределение<br>(красный<br>горизонтальная<br>поляризация,<br>зеленый<br>вертикальная) |  |  |  |

# Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП)

- Новосибирский государственный университет
  - Самарский университет
- Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва
  - Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск



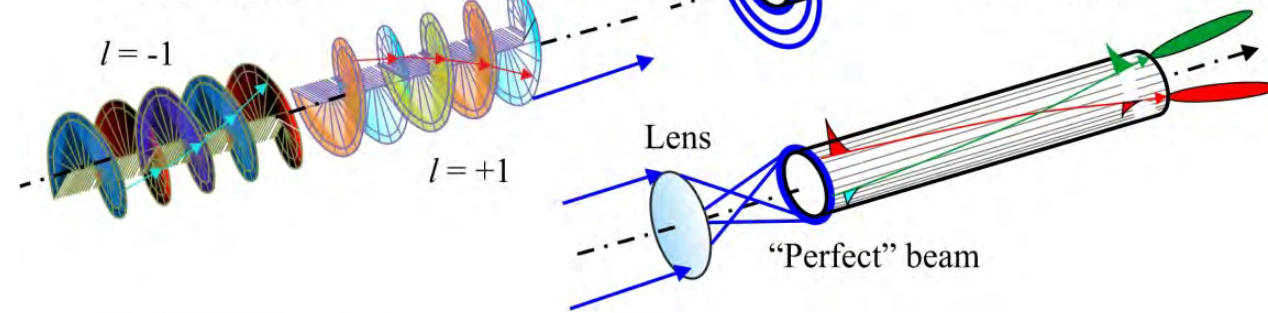
# Генерация вихревых плазмонов на цилиндрических проводниках методом дифракции свободной волны



Vortex beams

$L = 1 / 2 \text{Im}(k_{sp})$  – propagation length (10 cm)

$D_z = 1 / \text{Re}(\kappa)$  – decay length (10 – 0.2 mm)

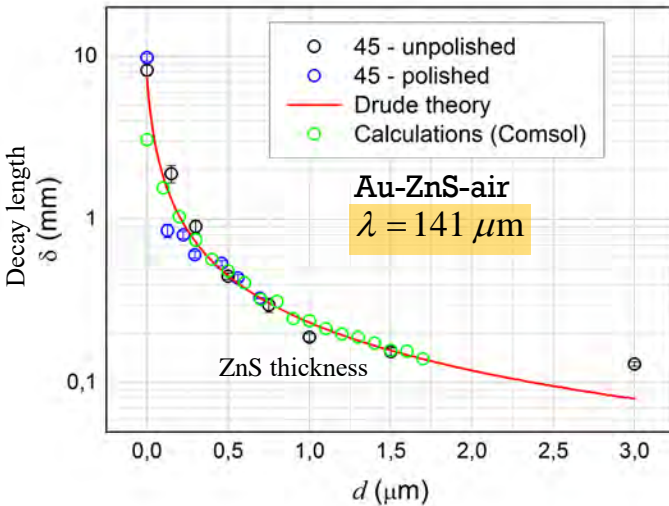


□ Генерация вихревых ППП бesselевыми пучками методом

- Радиус колец зависит от топологического заряда
- Знак поля изменяется от кольца к кольцу
- Первое кольцо содержит всего 10% полной энергии пучка

□ Генерация вихревых ППП «совершенными» пучками

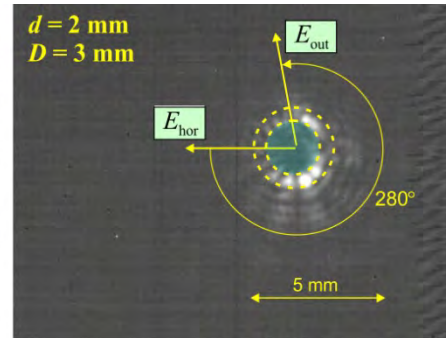
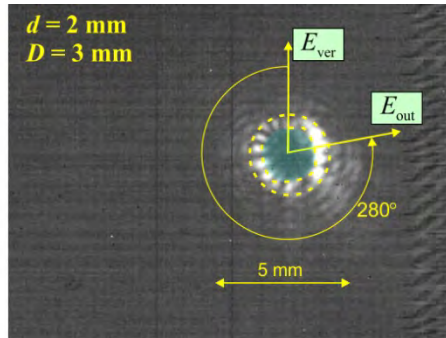
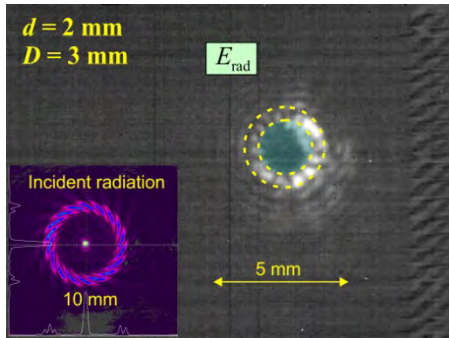
- Радиус колец не зависит от топологического заряда
- Вся энергия содержится в единственном кольце «совершенных» пучков
- Метод позволяет одновременно возбуждать плазмоны с разным топологическим зарядом (мультиплексная коммуникационная линия)



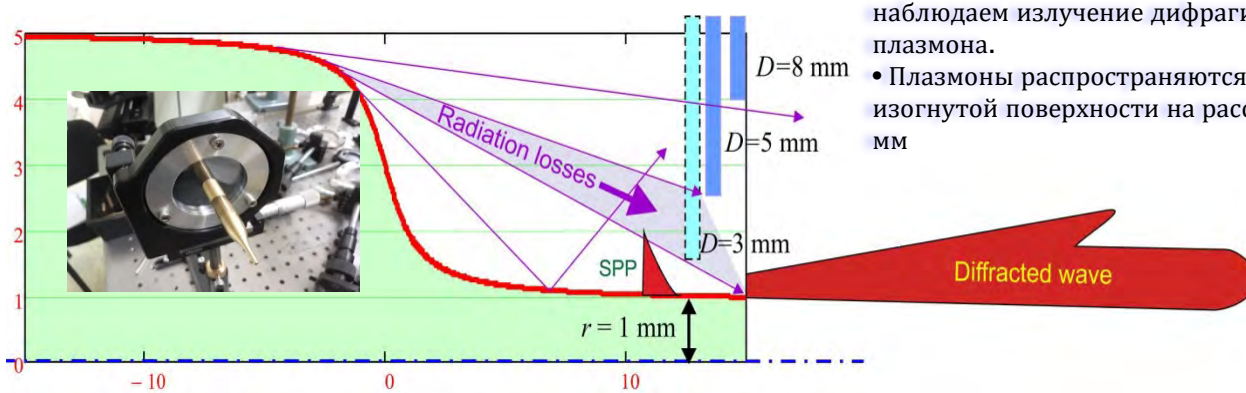
$$F(z, r, \varphi) = e^{-\beta(r-a_w)} e^{i(k_z z + l\varphi)} e^{-\gamma_{eff} z}$$

$$k_z^2 = k^2 - \kappa^2; \quad \gamma_{eff} = \gamma \frac{\Delta z + 2\pi r}{\Delta z} = \gamma \left( 1 + \frac{l}{r\sqrt{k^2 - \kappa^2}} \right)$$

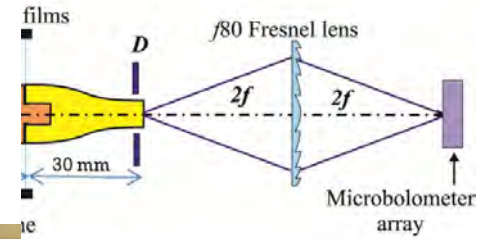
# Демонстрация вращения плазмонов, распространяющихся по цилиндрической линии



- При линейной поляризации возбуждающего пучка плазмоны генерируются на противоположных сторонах цилиндра
- При распространении вдоль цилиндра плазмоны с разными знаками топологического заряда вращаются в разные стороны



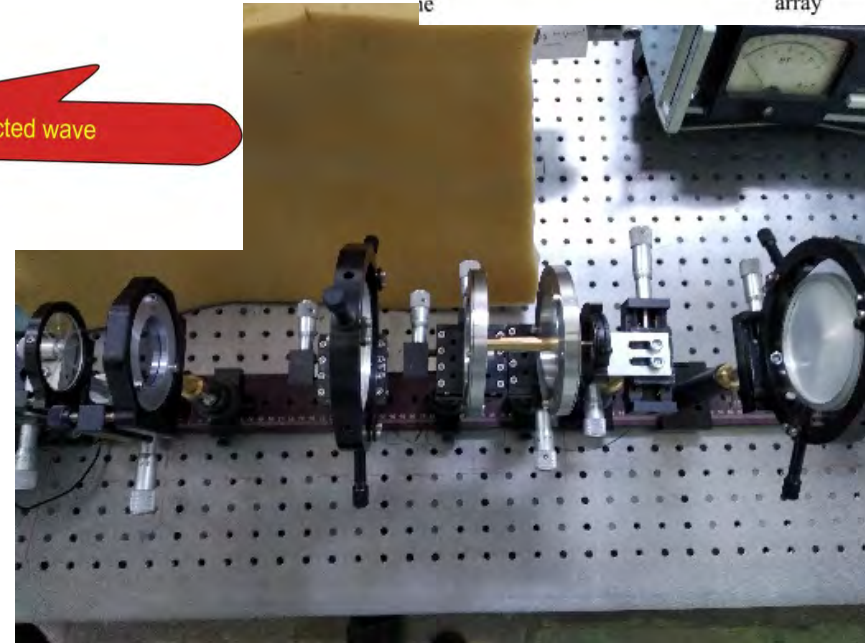
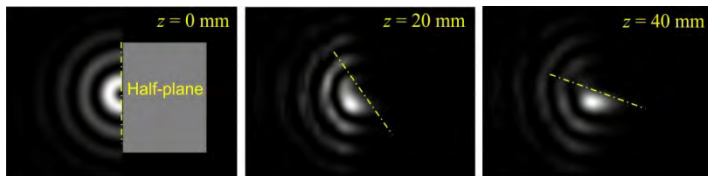
- Радиационные потери блокируются диафрагмой, следовательно, мы наблюдаем излучение дифрагировавшего плазмона.
- Плазмоны распространяются по изогнутой поверхности на расстоянии 70 мм



Расстояние, на котором вектор Пойнтинга поворачивается на 360 градусов при  $|\ell| = 9$  :

$$\Delta z = \frac{2\pi r^2 \sqrt{k^2 - \kappa^2}}{\ell} \quad \Delta z = \begin{cases} 780 \text{ mm} @ r = 5 \text{ mm} \\ 15 \text{ mm} @ r = 1 \text{ mm} \end{cases}$$

Вращение бesselов пучка при  $\ell = -1$



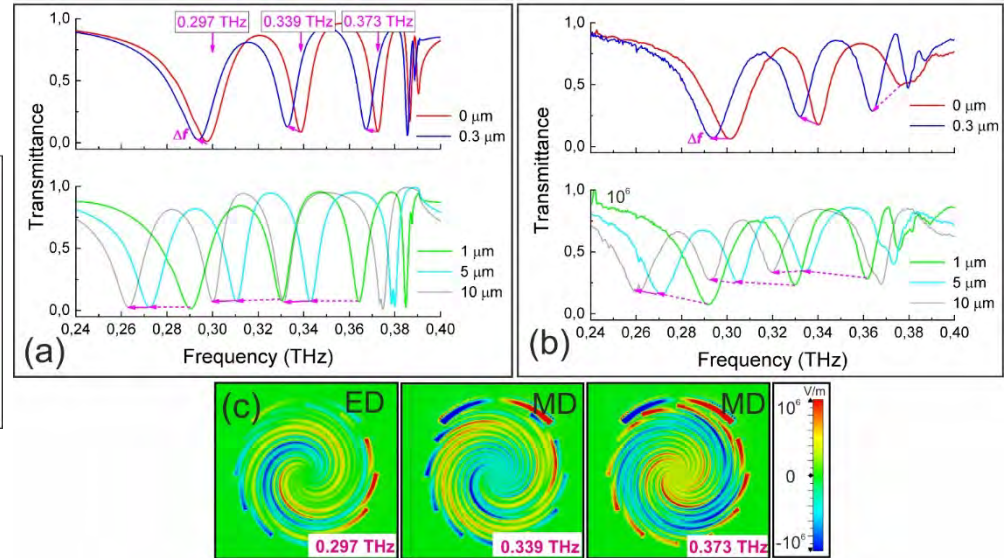


# Терагерцовые сенсоры тонких пленок на основе метаповерхностей из субволновых гофрированных дисков

ТГц спектры метаповерхностей субволновых гофрированных дисков имеют очень высокую чувствительность к наличию на поверхности диэлектрических пленок толщиной в десятки нм ( $d \approx 10^{-4} \lambda_0 - 10^{-5} \lambda_0$ )



Геометрии гофрированных дисков с С-резонатором



Спектры пропускания метаповерхностей при разных толщинах анализатора

Впервые предложено использовать фазовые спектры пропускания, которые показали экстремально высокую чувствительность ( $FOM \approx 5500 \text{ [RIU} \cdot \text{mm]}^{-1}$  при  $d \approx 300 \text{ нм}$ )



## Эксперименты по призрачному видению

- Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва
  - Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск

# Метод фантомных изображений (ghost imaging)

Призрачная визуализация (также называемая «визуализацией совпадений», «двухфотонной визуализацией» или «визуализацией коррелированных фотонов») - это метод, который создает изображение объекта путем объединения информации от двух световых детекторов: обычного многопиксельного детектора, который не видит объект, и однопиксельный детектор, который "видит" объект.

В методе фантомного видения (ФВ) получение изображения объекта  $O(x, y)$  происходит путем вычисления корреляционной функции второго порядка (взаимной интенсивности) между пространственным распределением интенсивности зондирующего пучка  $P(x, y)$  (масками) и интегральной интенсивностью  $S$  отраженного (либо прошедшего) света, регистрируемого однопиксельным приёмником в двух оптических плечах  $(x, y)$  и  $(x', y')$ :

$$O(x, y) \propto \sum_{i=1}^N \langle (S_i - \langle S \rangle)(P(x, y)_i - \langle P(x, y) \rangle) \rangle$$

$$= \langle P(x, y)_i \cdot S_i \rangle - \langle P(x, y) \rangle \langle S \rangle,$$

где  $\langle \dots \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dots$  оператор усреднения,  
 $N$  — число независимых масок  $P(x, y)$ ;  
 $S = \int R(x', y') P(x', y')_i dx' dy'$ ;  $R(x', y')$  — функция отклика объекта (передаточная функция).

## Преимущества метода

- Применение чувствительного однопиксельного приёмника для получения изображений без механического сканирования
- Устойчивость к рассеянию света и aberrациям на участке оптической системы между объектом и однопиксельным приёмником

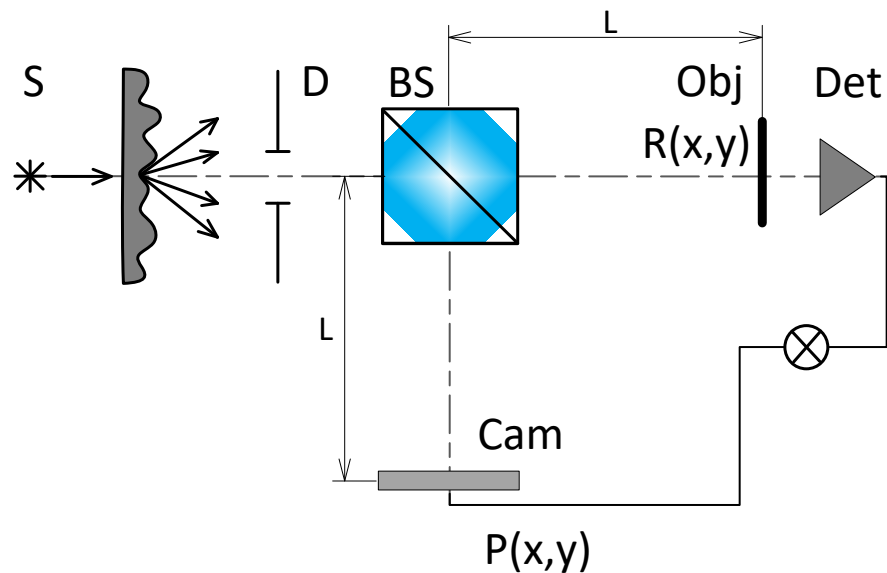
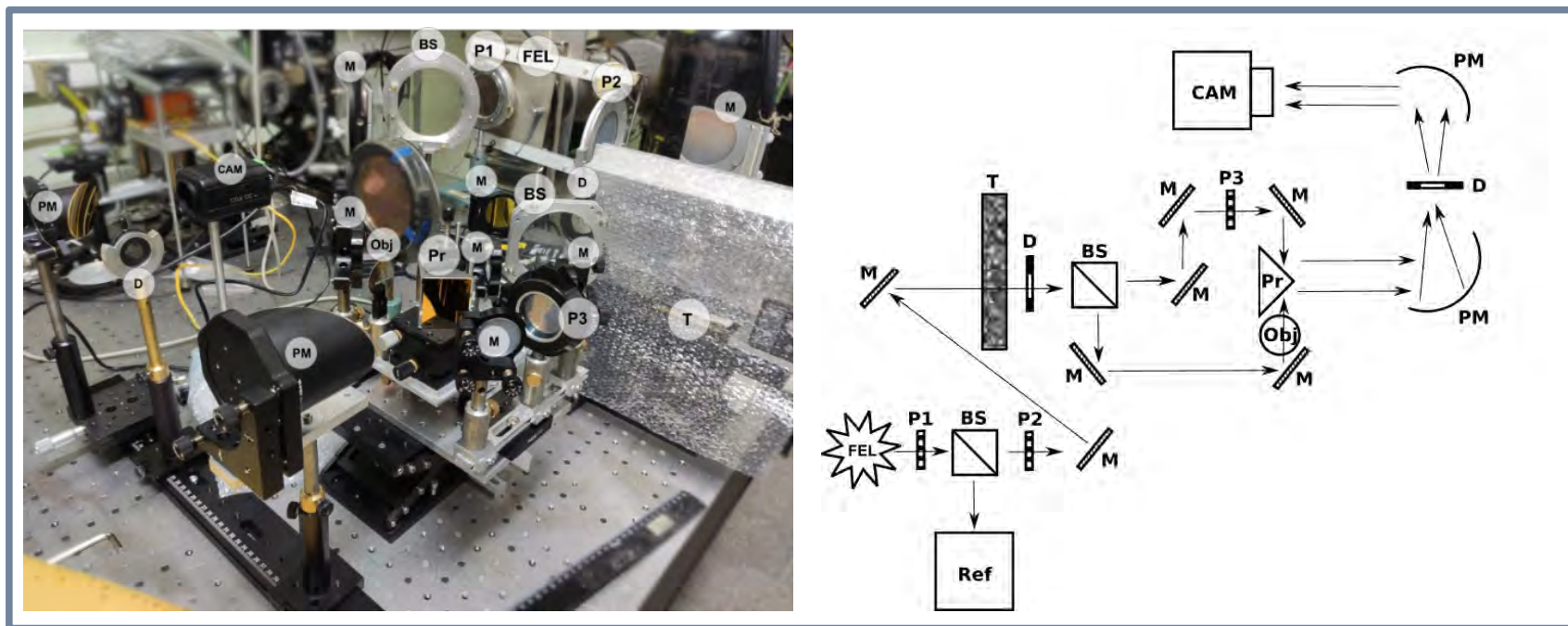


Схема классического метода фантомного видения:

D — апертура; Obj — объект;  
 BS — неполяризующий делитель пучка;  
 Det — однопиксельный детектор;  
 Cam — многопиксельная камера.

# Установка для демонстрации метода фантомных изображений в инфракрасном и терагерцовом диапазонах

Демонстрация возможности реализации классического метода фантомных изображений в инфракрасном и терагерцовом диапазонах, используя пространственно-модулированное освещение спекл-структурами.



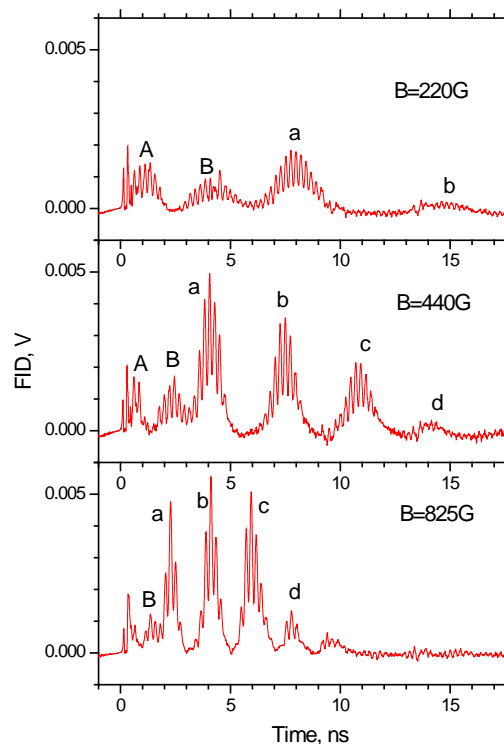
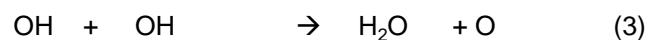
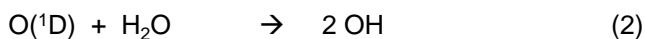
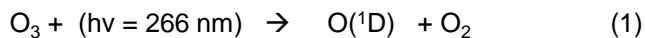
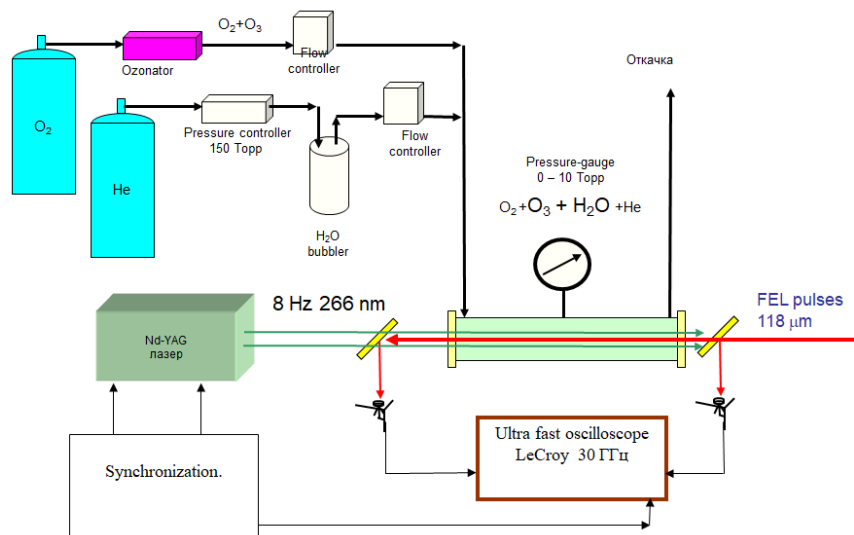
Фотография и оптическая схема установки: FEL – излучение Новосибирского лазера на свободных электронах (на фото излучение перекрыто металлической задвижкой); BS – светоделительные полиэтиленовые пленки для терагерцового излучения; Ref – референтный контроль мощности излучения; P1 и P2 – поляризаторы для регулировки мощности излучения; P3 – поляризатор для выравнивания мощности излучения между двумя оптическими каналами; T - рассеиватель с шероховатой поверхностью (полиэтиленовая пупырчатая плёнка), установленный на моторизованный транслятор; D – диафрагмы; M – зеркала; Pr – зеркальная призма для сближения параллельных пучков; Obj – объект исследования; PM – параболические зеркала, образующие телескопическую систему; CAM – матричный приёмник.



## Исследование газов и плазмы

- Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск
  - Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
  - Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск

# Исследование гидроксильных радикалов в магнитных полях. Грант РФФ 19-73-20060



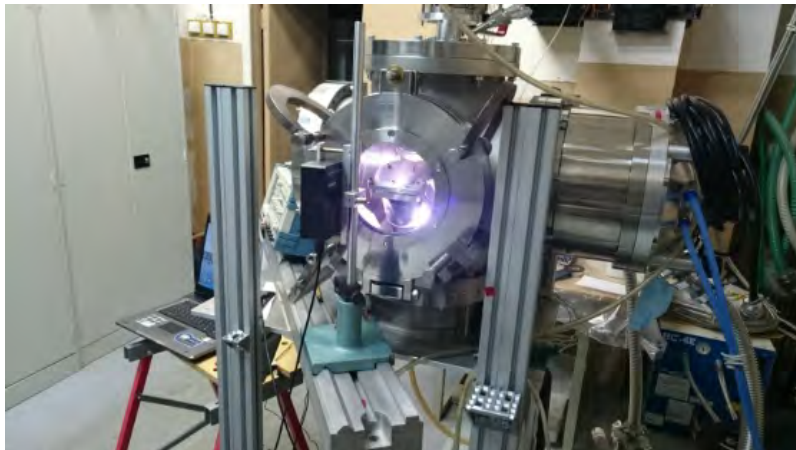
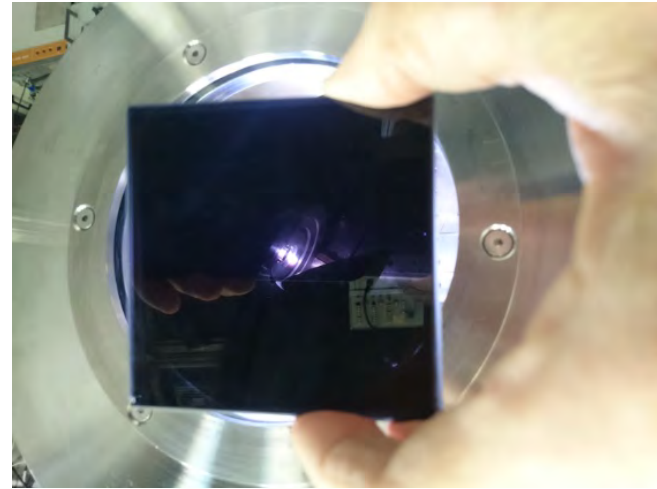
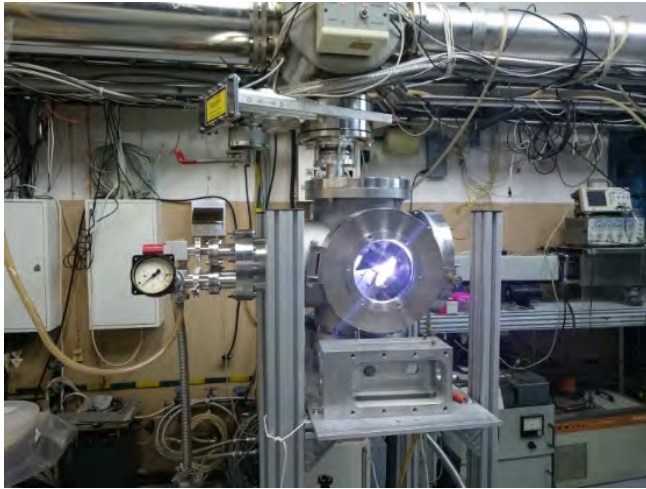
Экспериментальные сигналы излучения свободной индукции молекул ОН-радикала при поляризации, перпендикулярной к поляризации возбуждающего излучения НЛСЭ, которые появляются при наложении слабого магнитного поля разной величины. Сигналы практически совпадают с расчетными.

- Впервые наблюдалось влияние внешнего продольного магнитного поля на затухание оптической свободной индукции свободного радикала.
- Эксперименты проводились на вращательной линии гидроксильного радикала ОН ( ${}^2\Pi_{3/2}(J=1) \leftarrow {}^2\Pi_{1/2}(J=0)$  на  $83,8 \text{ см}^{-1}$ ) с использованием лазера на свободных электронах терагерцового диапазона. Продольное магнитное поле приводит к повороту плоскости поляризации излученной волны, а также к дополнительной модуляции интенсивности сигнала.
- Угол поворота плоскости поляризации велик, что согласуется с теоретическими предсказаниями. Наблюдаемая кинетика FID во временной области находится в полуколичественном согласии с результатами численного моделирования.
- Это наблюдение открывает возможность селективного обнаружения слабых сигналов короткоживущих активных парамагнитных свободных радикалов от подавляющих сигналов стабильных немагнитных частиц.

E.N.Chesnokov, V.V. Kubarev, L.N. Krasnoperov, P.N. Koshlyakov, "Magnetic Field Effect on the Free Induction Decay of Hydroxyl Radical (OH) in the Terahertz Region", Phys. Chem. Chem. Phys., 2020,22, 20248-20252. DOI: 10.1039/D0CP02773A

E.N.Chesnokov, V.V. Kubarev, L.N. Krasnoperov, P.N. Koshlyakov, "Observation of Free Induction Decay Signals of Radicals Excited by Terahertz Free-Electron Laser Pulses", Combustion Explosion and Shock Waves, 2019, 55(1), 1-5. DOI: 10.1134/S0010508219010027

# Исследование непрерывного оптического разряда. Грант РФФИ 19-72-20166



Путем оптимизации оптической системы, газового состава и давления получен стабильный точечный лазерный разряд с рекордно-высокой температурой в центре плазменного шара  $T = 62000 \text{ }^\circ\text{K}$  и плотностью плазмы  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  при сравнительно небольшой средней мощности НЛСЭ, равной - 200 Вт.



## Исследование конденсированных сред

- Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН, Москва
  - МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва
- ИПЛИТ РАН - филиал ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН, Шатура
  - Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород
    - Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск

# Акустооптическая дифракция ТГц-излучения в сжиженном элегазе ( $\text{SF}_6$ ) при комнатной температуре

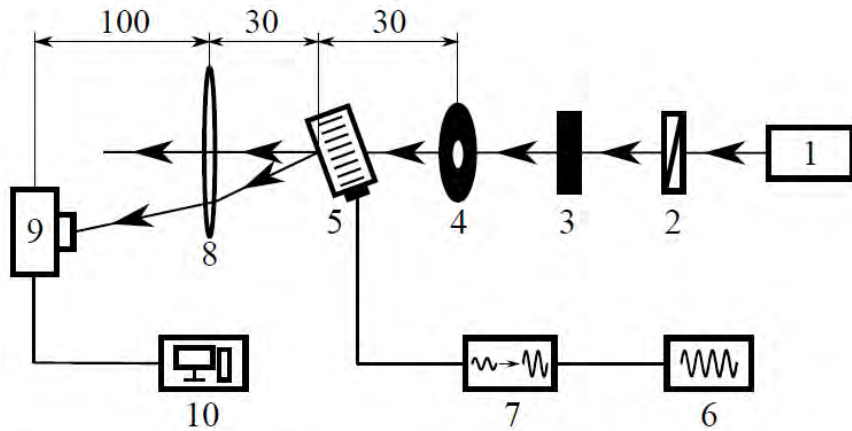
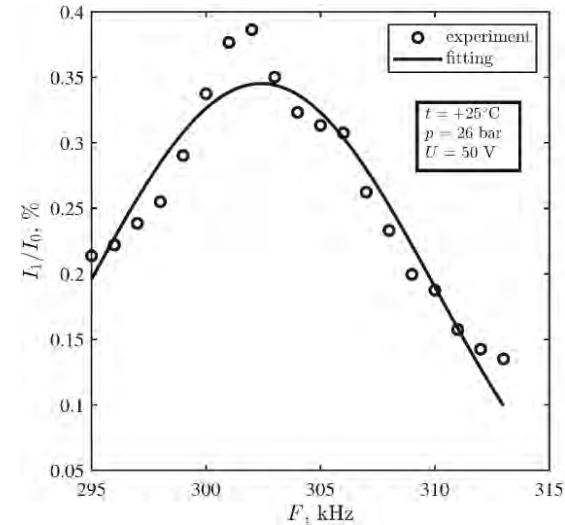
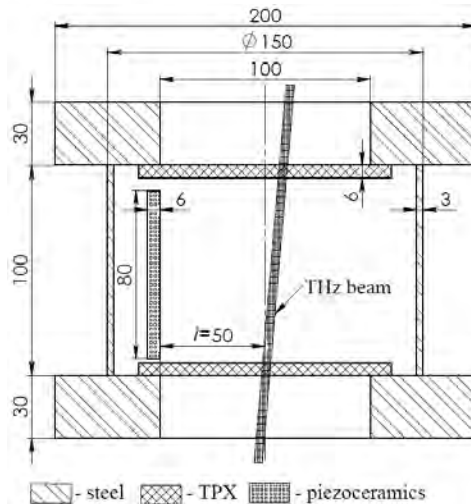
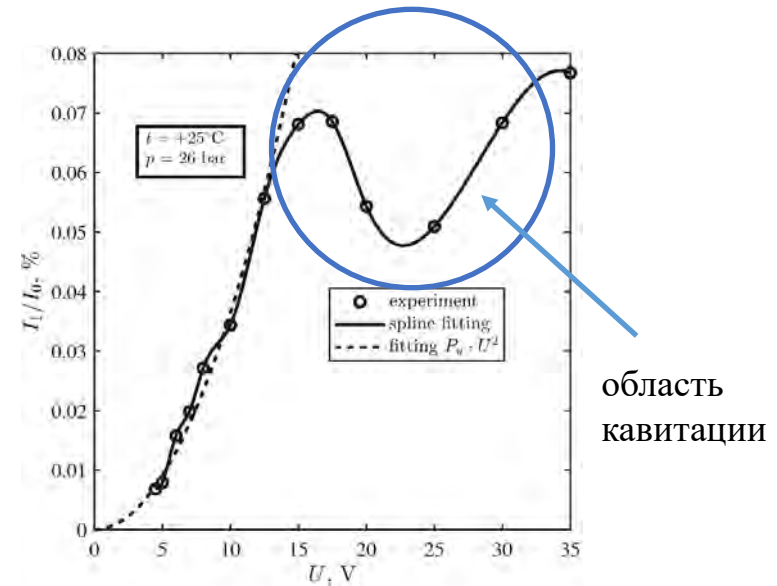


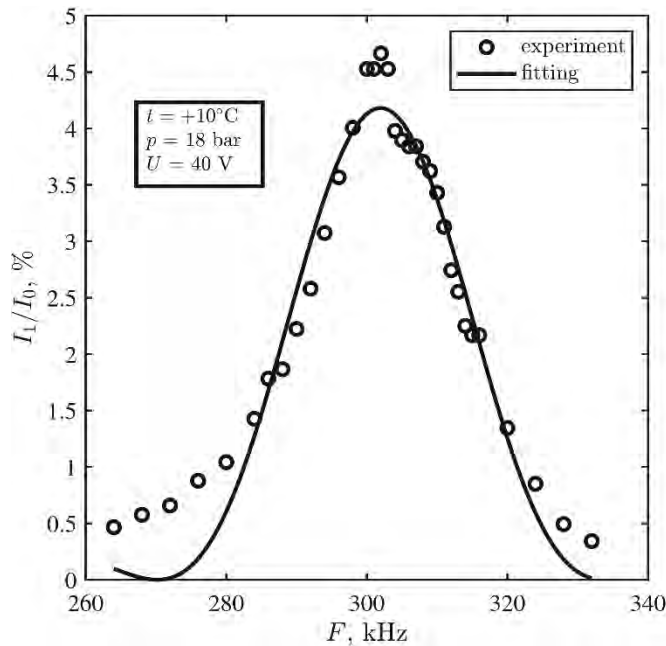
Figure 2: Schematic drawing of the experimental setup: 1 – free-electron laser; 2 – polarizer; 3 – attenuator; 4 – diaphragm; 5 – AO cell; 6 – radio-frequency generator; 7 – radio-frequency amplifier; 8 – lens; 9 – microbolometer array; 10 – computer.



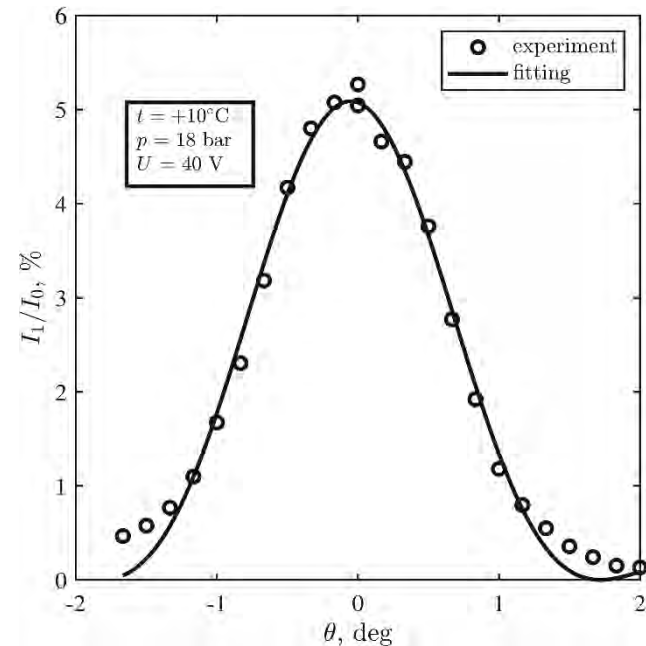
полоса частот ультразвука  $\Delta F = 16$  кГц



# Акустооптическая дифракция ТГц-излучения в сжиженном элегазе ( $\text{SF}_6$ ) при пониженной температуре



полоса частот ультразвука  $\Delta F = 28 \text{ кГц}$



полоса углов  $\Delta\theta = 1.6^\circ$

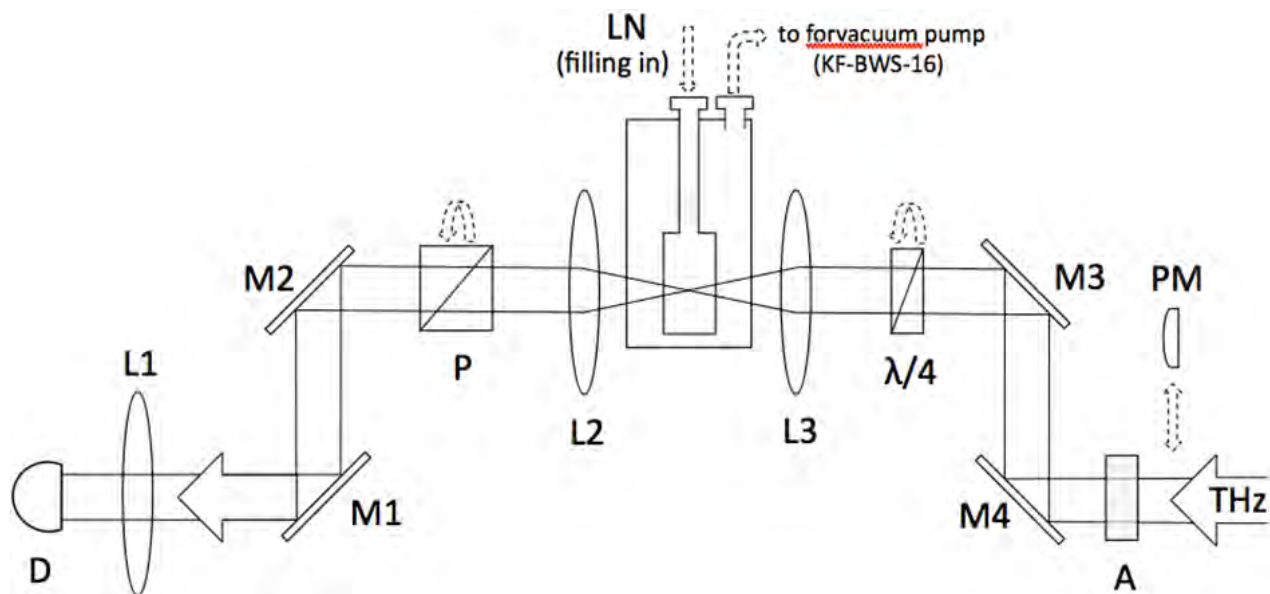
**Цель:** разработка эффективного быстродействующего модулятора ТГц-излучения. Реализована акустооптическая дифракция излучения на ультразвуке в режиме Брэгга, когда наблюдается только два дифракционных максимума: нулевой и первый. В качестве среды акустооптического взаимодействия использовался сжиженный элегаз (гексафторид серы,  $\text{SF}_6$ ), поскольку в этом веществе акустооптический эффект проявляется наиболее сильно.

При комнатной температуре интенсивность излучения в первом дифракционном порядке пропорциональна мощности ультразвука (или квадрату амплитуды напряжения на излучателе ультразвука), что позволяет осуществлять модуляцию излучения. Акустооптический эффект носит резонансный характер и наблюдается лишь в узкой полосе частот ультразвука, а интенсивность дифрагированного излучения достигает 0.4% при комнатной температуре.

При пониженной температуре (+10 градусов) Цельсия эффективность дифракции повышается на порядок, по-видимому, вследствие уменьшения затухания ультразвука.

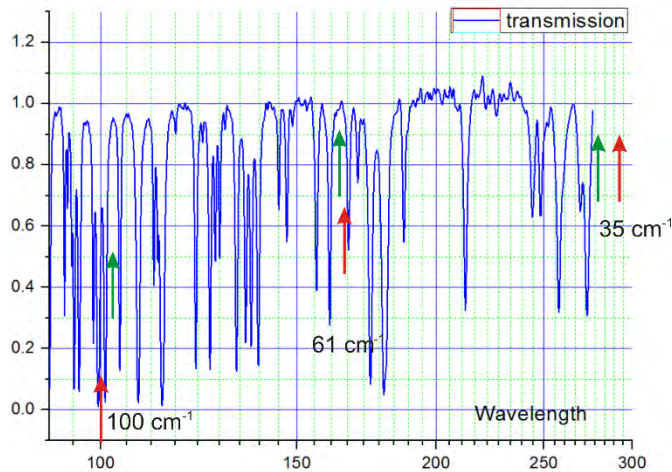


# Исследование нелинейных эффектов в жидком азоте

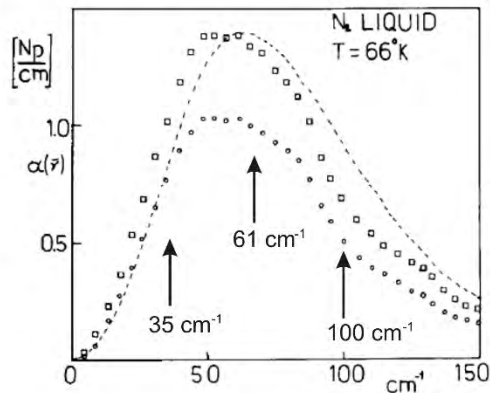


Исследования направлены на изучение влияния агрегатного состояния среды на взаимодействие с ней мощного терагерцового и ИК излучения. Для этого планируется провести исследования с жидкофазными средами, в том числе изучение процессов нелинейного взаимодействия в присутствии фемтосекундных лазерных полей.

# Исследование нелинейных эффектов в жидком азоте

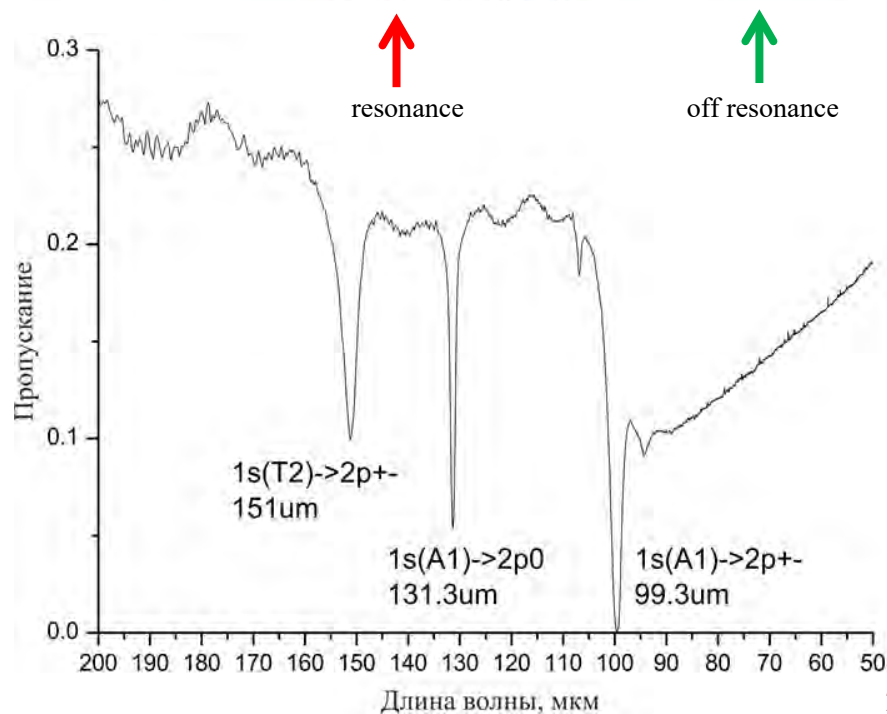
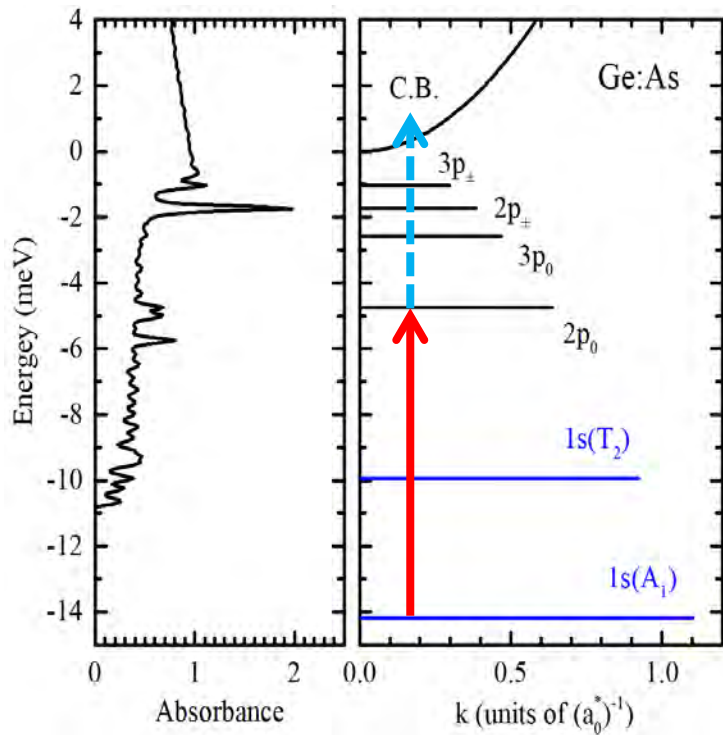
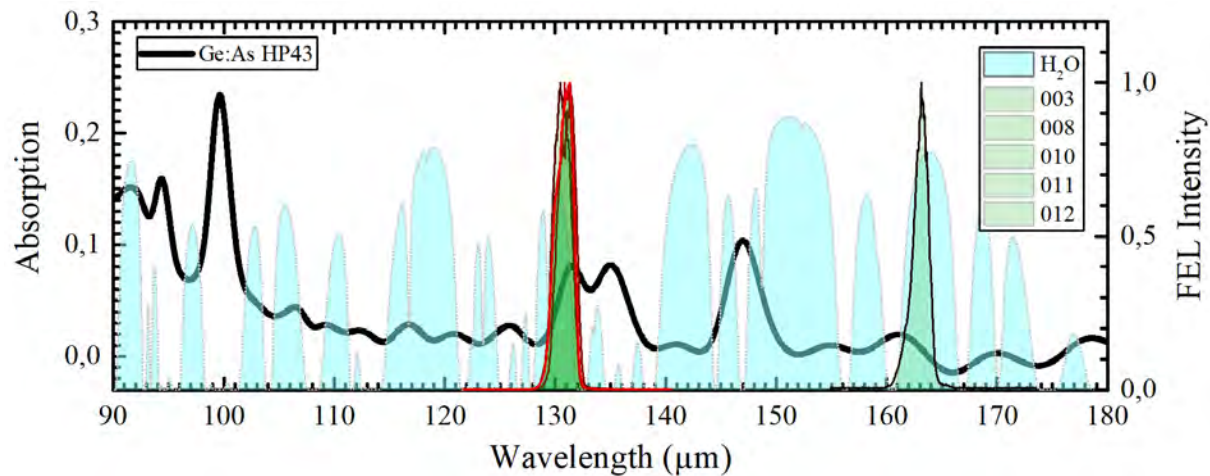
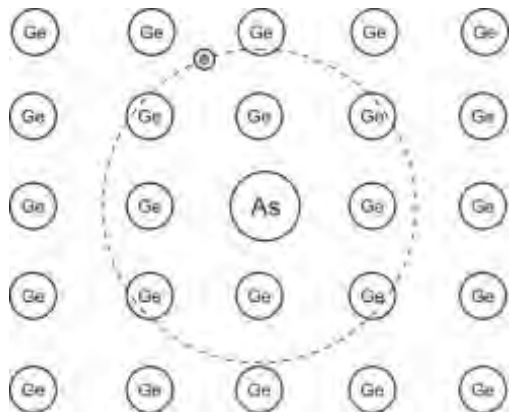


Far I.R. absorption of liquid  $N_2$



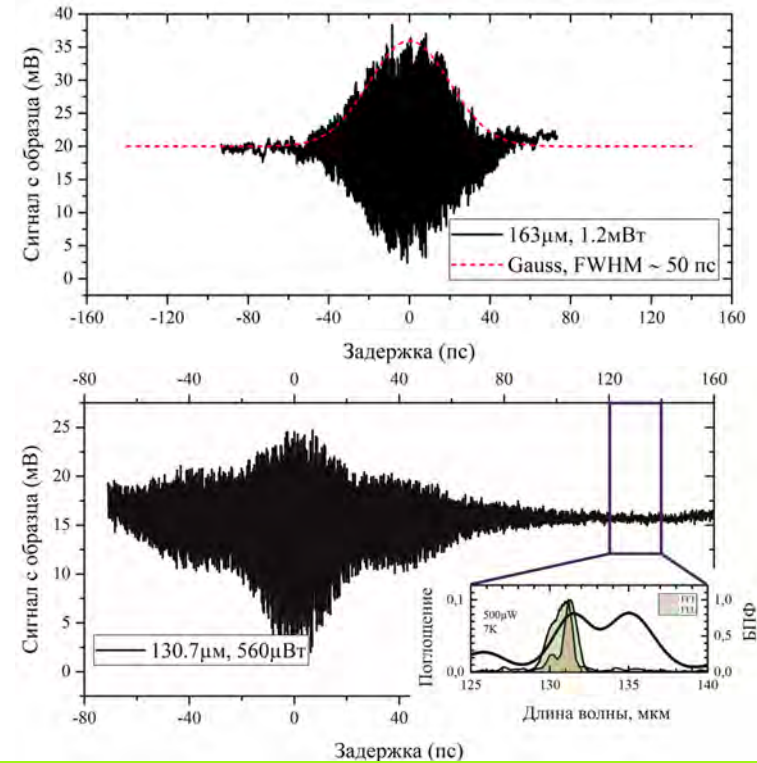
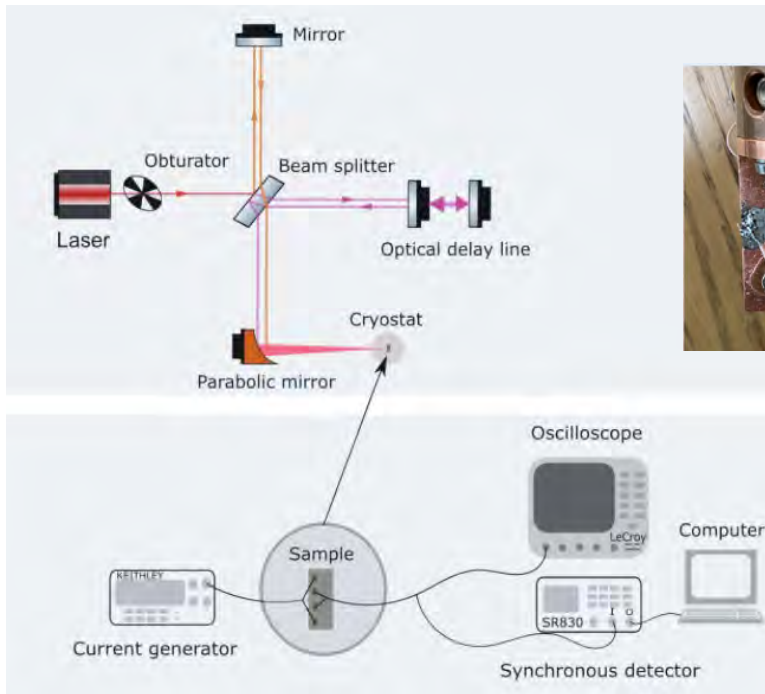
Для экспериментов по исследованию взаимодействия мощного ТГц излучения с жидкофазной средой используется Новосибирский терагерцовый лазер на свободных электронах (НЛСЭ) в ИЯФ СО РАН. На базе НЛСЭ создаётся экспериментальный стенд для исследования взаимодействия мощного терагерцового излучения с жидкофазной средой. Проведены предварительные эксперименты, используя в качестве неполярной среды жидкий азот. Начата разработка теоретического подхода для описания такого взаимодействия.

# Когерентность и релаксация оптически возбуждаемых состояний кулоновских центров в полупроводниках (грант РФФ 19-72-20163)





# Экспериментальное наблюдение осцилляций Рамсея в $Ge^{As}$ путём измерения фототока проводимости



- Для обнаружения осцилляций Рамсея на ЛСЭ NovoFEL проведены измерения отклика проводимости образца  $Ge:As$  при импульсном резонансном возбуждении состояния  $2p_0$  когерентными импульсами на частоте ( $131.3 \text{ мкм}$ ,  $76 \text{ см}^{-1}$ ).
- Вызванное излучением падение напряжения на образце было записано как функция оптической задержки между двумя когерентными импульсами, обладающими одинаковой поляризацией в схеме интерферометра Майкельсона.
- Фотопроводимость образца при ненулевой температуре (температура холодного пальца - 4 К) возникает по причине термического выброса электронов с возбуждаемого уровня в зону проводимости (энергия ионизации уровня  $2p_0$  - 4.74 эВ, энергия перехода с основного состояния - 9.44 эВ).
- В результате были получены осцилляции фотопроводимости (напряжения) для задержек, превышающих длительность импульса (область автокорреляции).
- Полученные данные указывают на эффект Рамсея, который возникает благодаря когерентному взаимодействию второго (задержанного) терагерцового импульса с когерентным колебанием поляризации среды, возбуждаемой первым импульсом.
- Измеренное время экспоненциального спада сигнала осцилляций, интерпретируемое как время поперечной релаксации  $T_2$ , составляет  $\sim 80 \text{ пс}$  для образца с наименьшей концентрацией.
- Осцилляции Рамсея в германии, легированном мелкими донорами V группы, при регистрации фототока, получены впервые.

Спасибо за внимание