

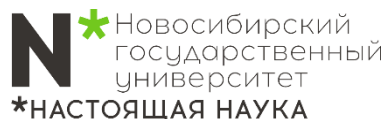
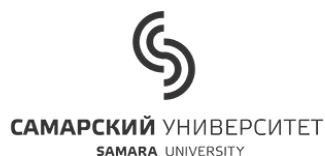
Эксперименты на ЛСЭ

Институт Ядерной Физики СО РАН

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

Научная сессия ИЯФ СО РАН, 30 января 2020

Команда ЛСЭ и пользователи

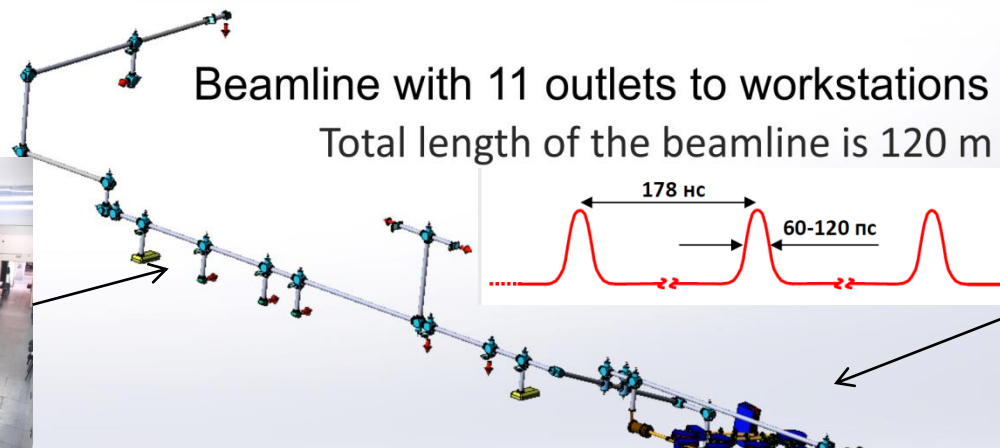


И. А. Азаров, С. Л. Вебер, Н. А. Винокуров, В. В. Герасимов, Я. И. Горбачев, Я. В. Гетманов, Б. Г. Гольденберг, Р. Х. Жукавин, О. Е. Камешков, Б. А. Князев, П. В. Кошляков, И. А. Котельников, А. С. Козлов, В. В. Кубарев, Л. В. Куйбида, Г. Н. Кулипанов, С. Б. Малышкин, А. К. Никитин, П. А. Никитин, Н. Д. Осинцева, В. С. Павельев, С. Е. Пельтек, А. К. Петров, В. М. Попик, Т. В. Саликова, С. С. Средняков, Д. А. Скороход, А. Н. Скринский, Е. Н. Чесноков, Ю. Ю. Чопорова, В. Н. Шастин, О. А. Шевченко, В. М. Швец, М. А. Щеглов

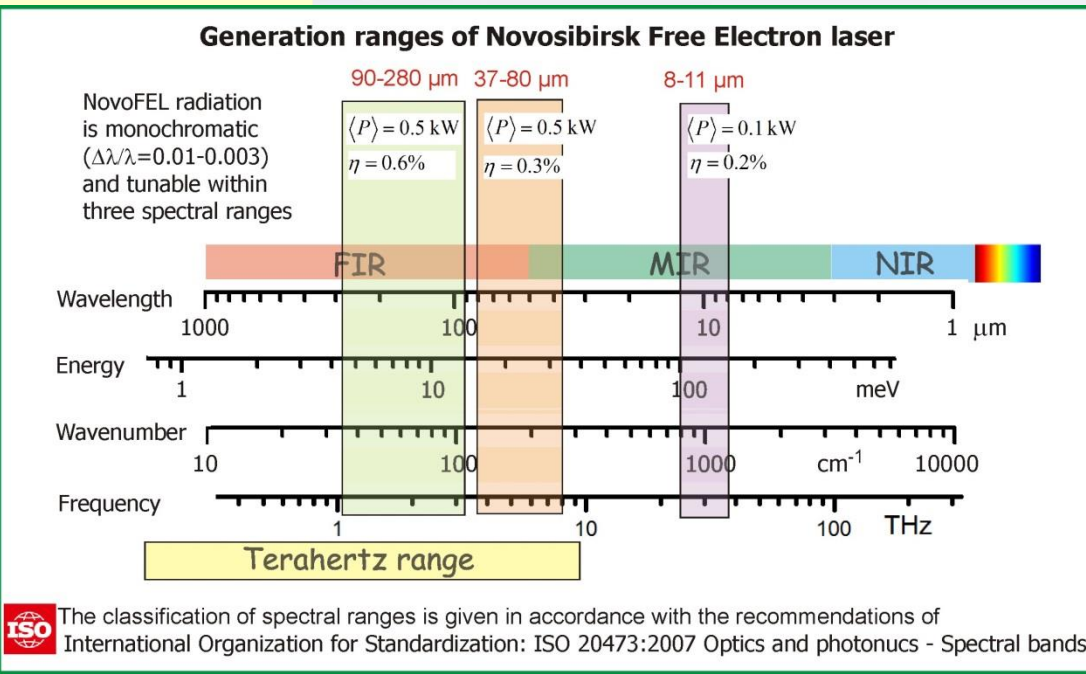


Ускоритель-рекуператор и рабочие станции

Секция
транспортного
канала

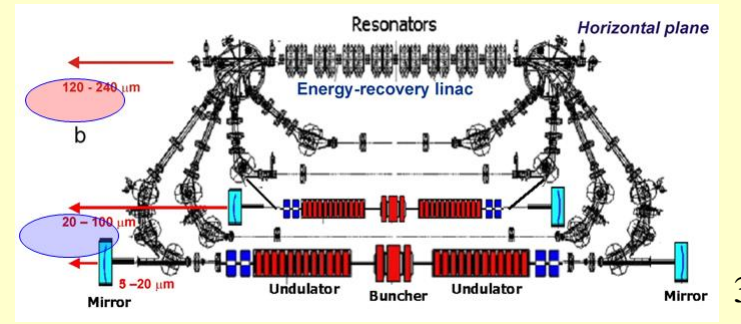


Секция вывода
лазерных пучков в
транспортный канал



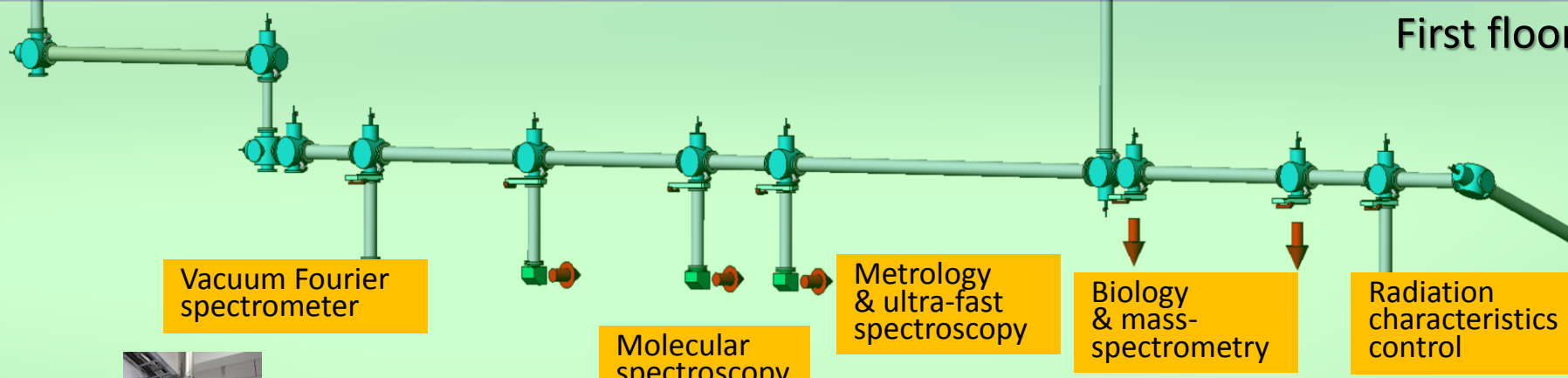
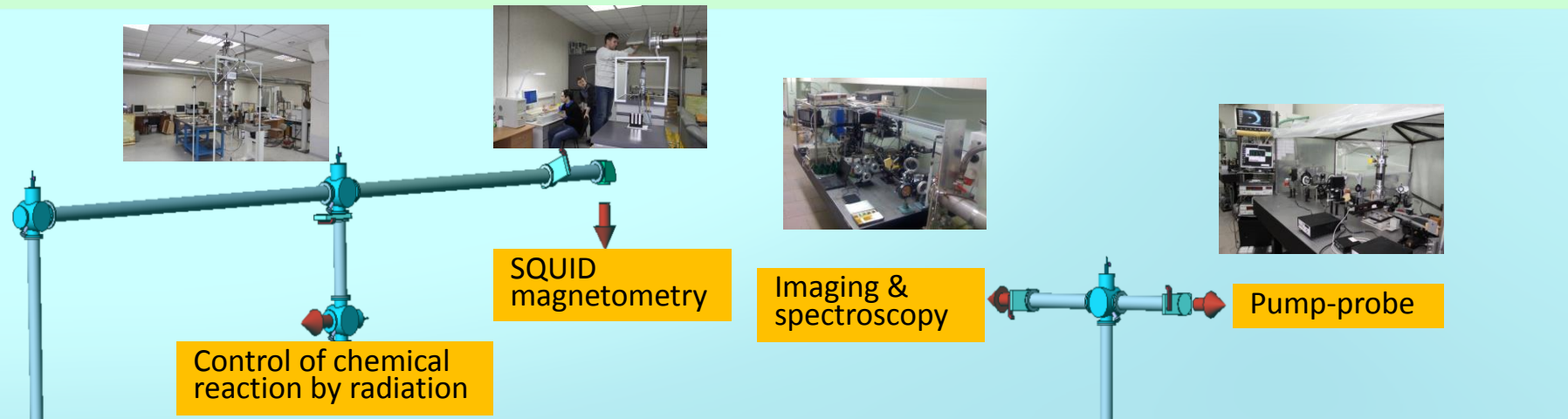
The classification of spectral ranges is given in accordance with the recommendations of International Organization for Standardization: ISO 20473:2007 Optics and photonics - Spectral bands

Multiturn energy recovery linac with three individual laser systems



Рабочие станции

Second floor



First floor



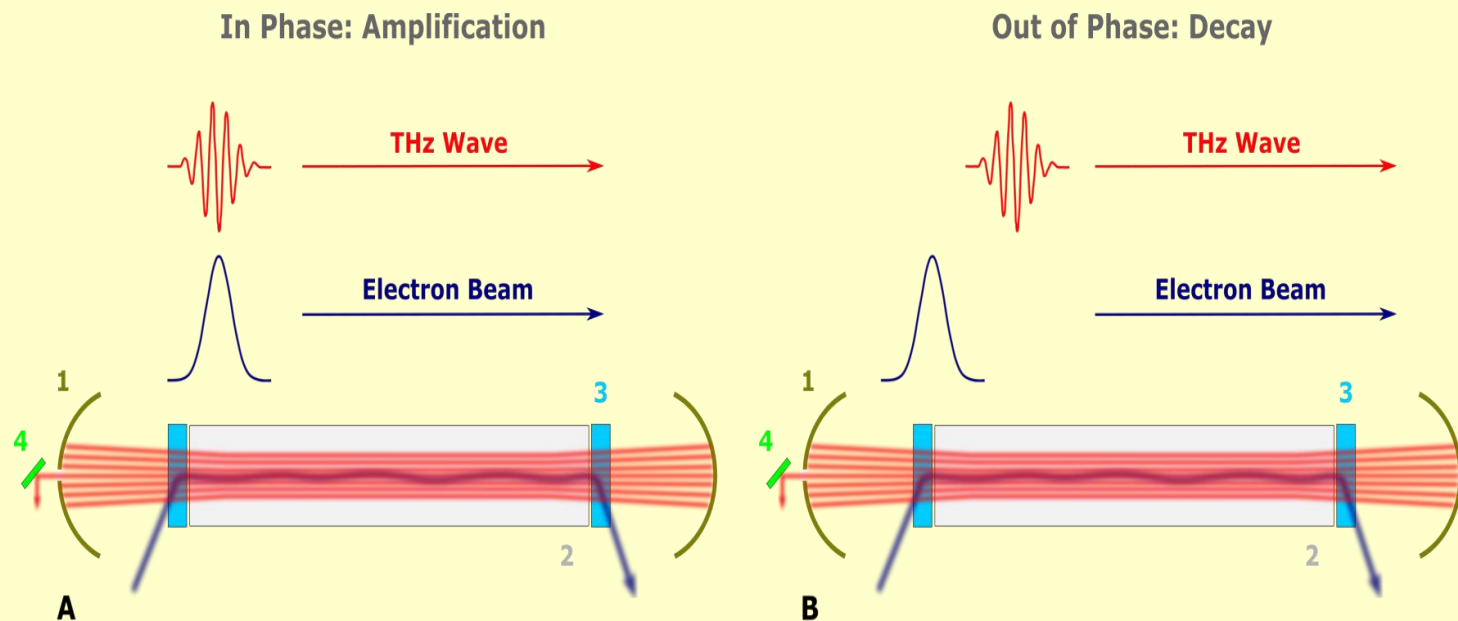
Effect of radiation on materials



EPR spectroscopy



Система электронной модуляции ТГц излучения

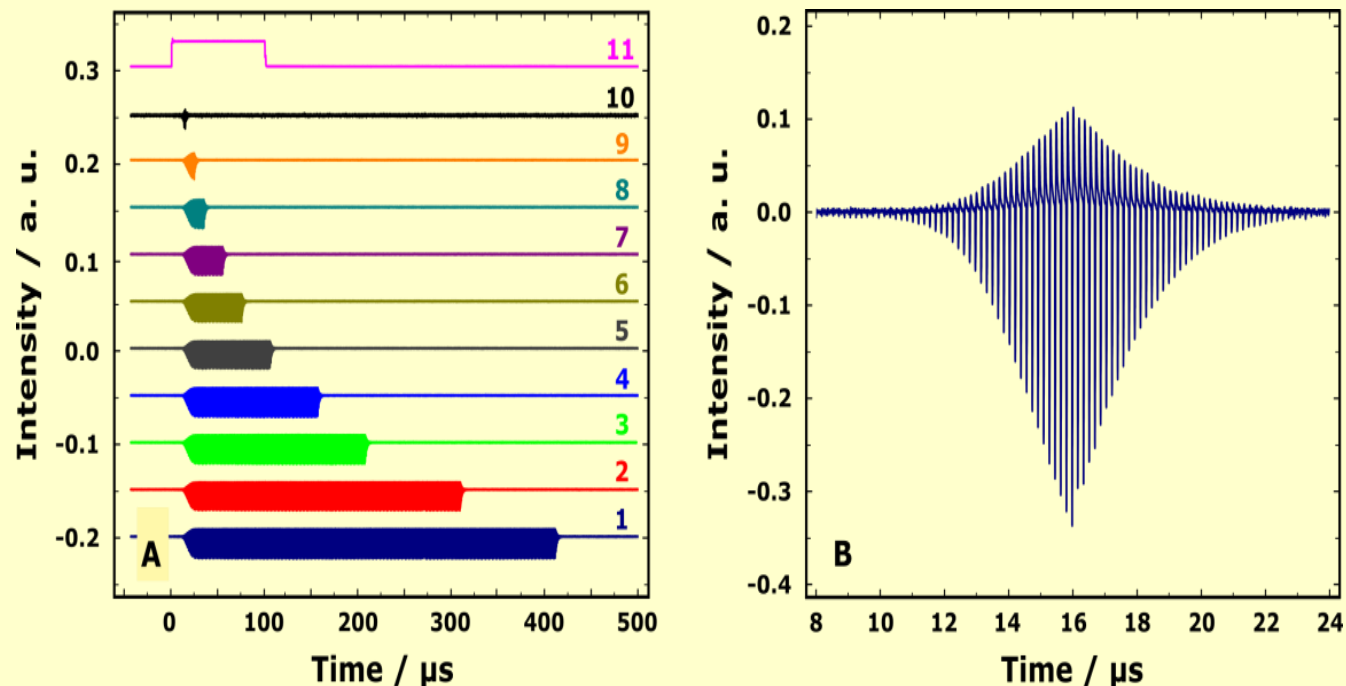


1 – оптический резонатор; 2 – ондулятор; 3 – поворотные магниты; 4 – вывод ТГц излучения

Система электронной модуляции основана на периодическом фазовом сдвиге инъекции электронного сгустка. Это подавляет генерацию и формирует макроимпульсы ТГц излучения. Система встроена в существующую инфраструктуру Новосибирского ЛСЭ, что позволяет запускать макроимпульсы

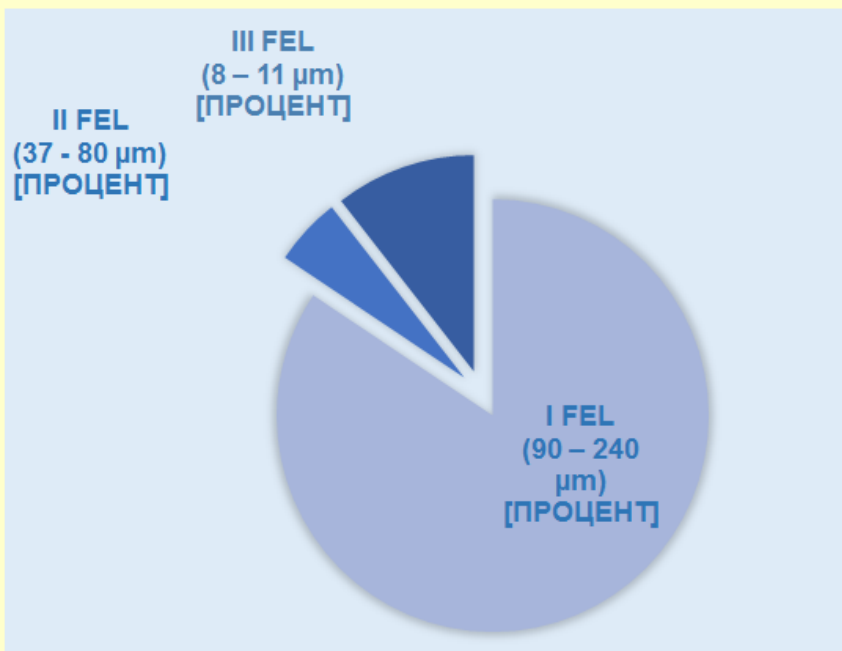
Система электронной модуляции ТГц излучения

Для демонстрации возможностей системы электронной модуляции излучения были получены ТГц макроимпульсы различной длительности на всех трех существующих ЛСЭ



- (A) Макроимпульсы ТГц излучения при длине волны 130 $\mu\text{м}$. Длительность импульсов от 10 до 400 $\mu\text{с}$; (11) сигнал триггера. Каждый последующий импульс сдвинут по вертикали;
- (B) Макроимпульс длительностью 10 $\mu\text{с}$. Видны единичные импульсы Новосибирского ЛСЭ.

Кто работал на станциях в 2019 году



Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск
Новосибирский госуниверситет, Новосибирск
Институт химической кинетики СО РАН,
Новосибирск

Томоцентр СО РАН, Новосибирск
Институт физики полупроводников СО РАН,
Новосибирск

Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород

Институт физики микроструктур РАН,
Нижний Новгород

Самарский университет, Самара
Институт систем обработки изображений РАН,
Самара

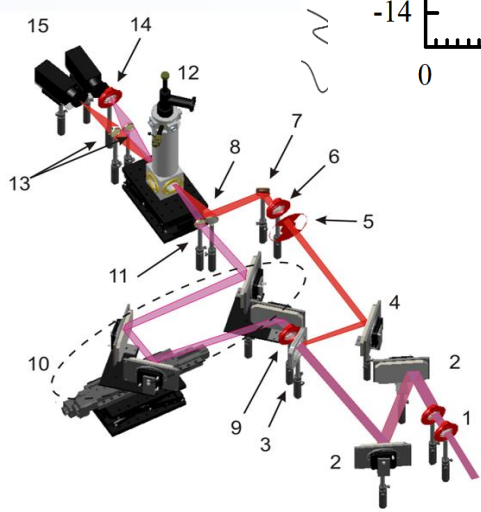
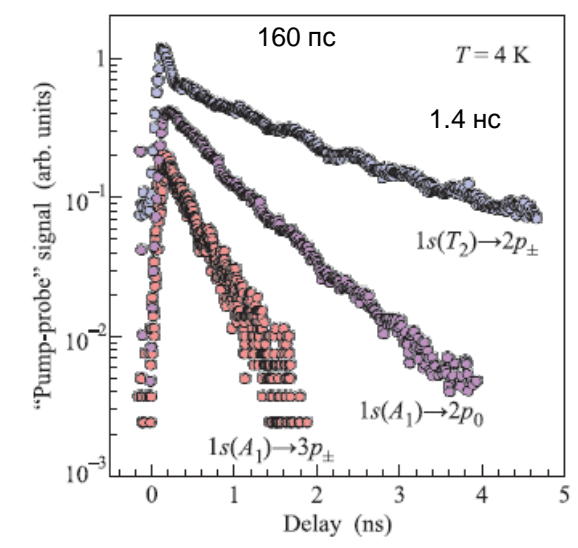
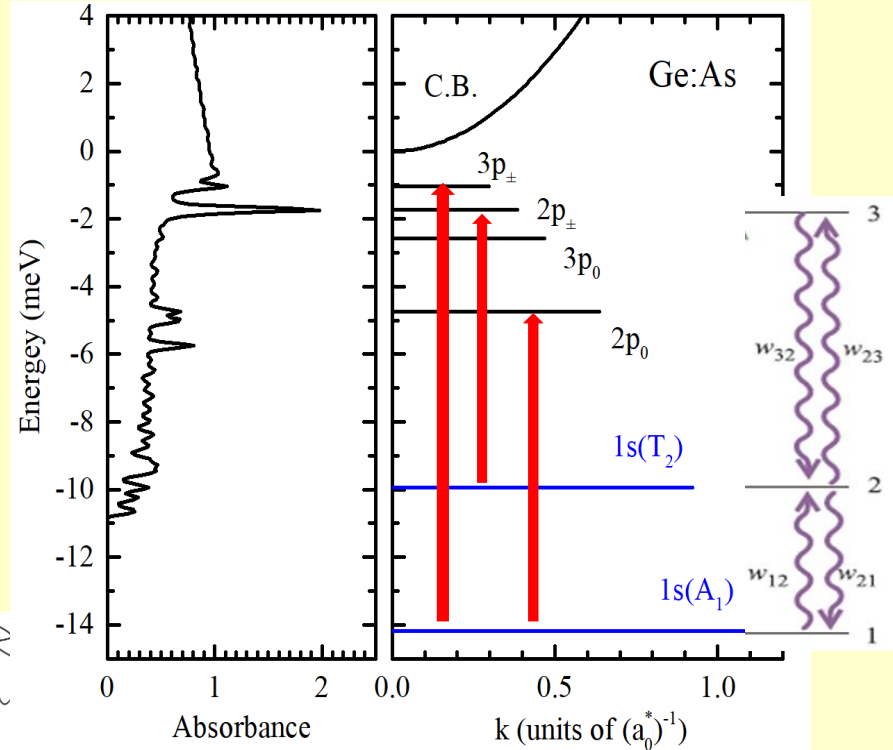
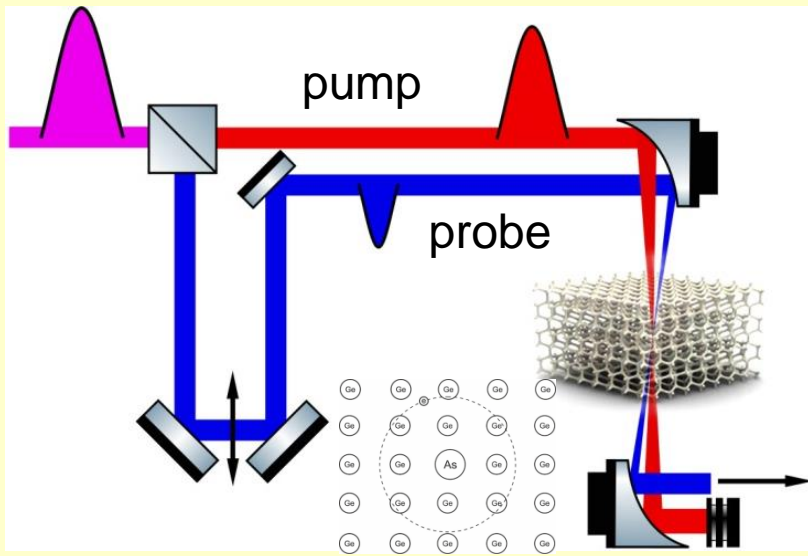
Институт общей физики РАН, Москва
Научно-технологический центр уникального
приборостроения РАН, Москва

Московский государственный университет, Москва
Radboud University, the Netherland

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

«Инфраструктурные» гранты РФФ:

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

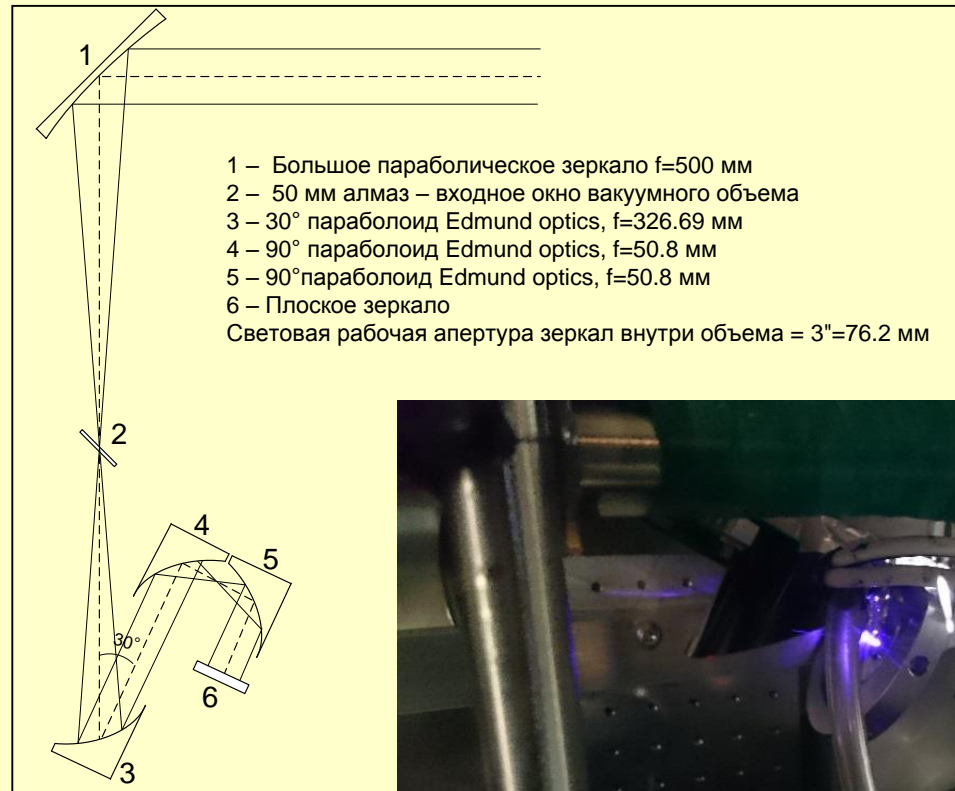
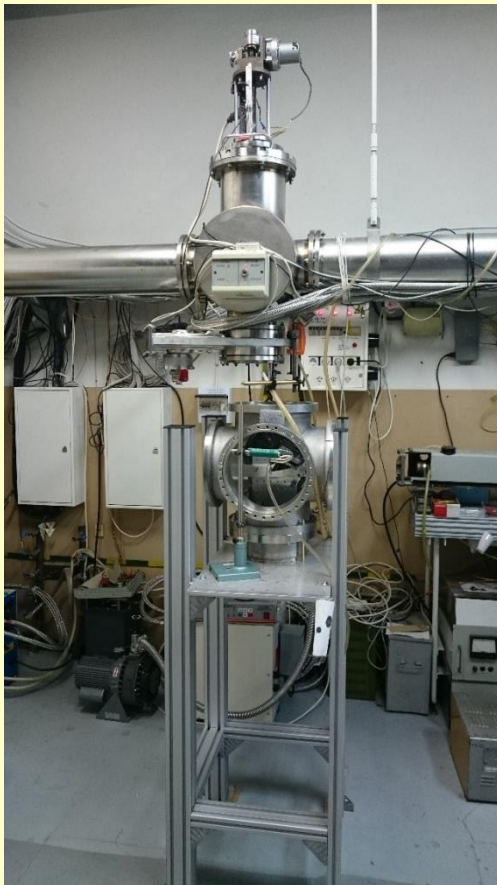


Короткая компонента связана с быстрым термическим заселением второго уровня ($1s(T_2)$) из основного состояния донора за счет поглощения термически равновесных фононов. Более длинная компонента связана с релаксацией третьего уровня.

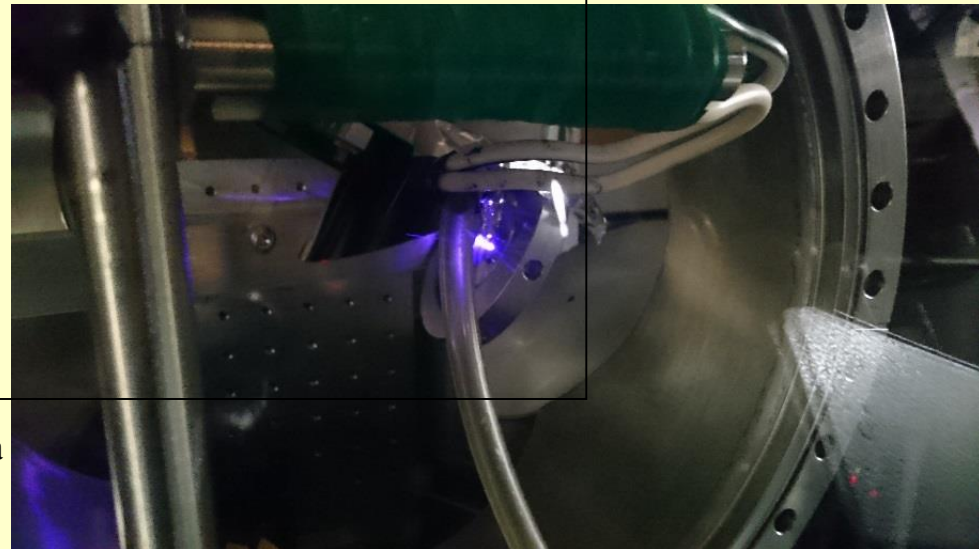
«Инфраструктурные» гранты РФФ:

Исследование разряда, создаваемого излучением терагерцового лазера на свободных электронах в неоднородном потоке газа, как точечного источника мягкого рентгеновского излучения (РНФ 19-72-20166)

Станция для исследования лазерного разряда в первых атмосферных экспериментах



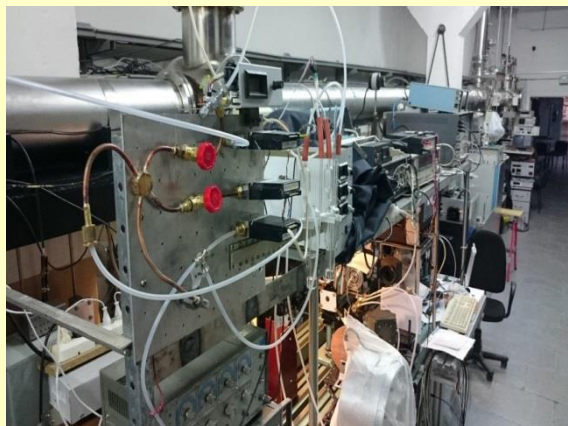
Оптическая схема



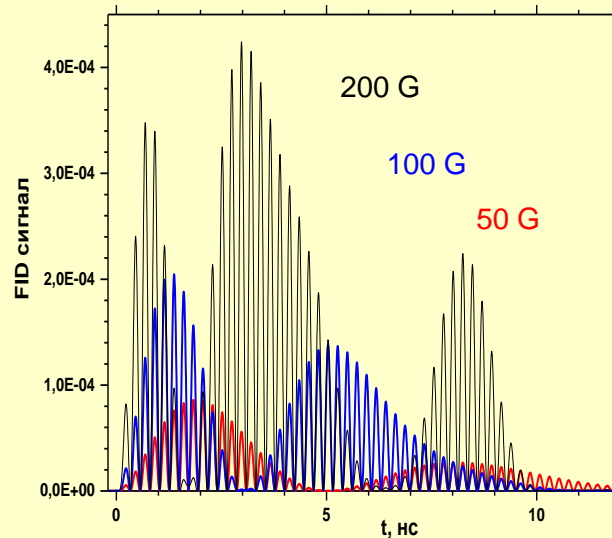
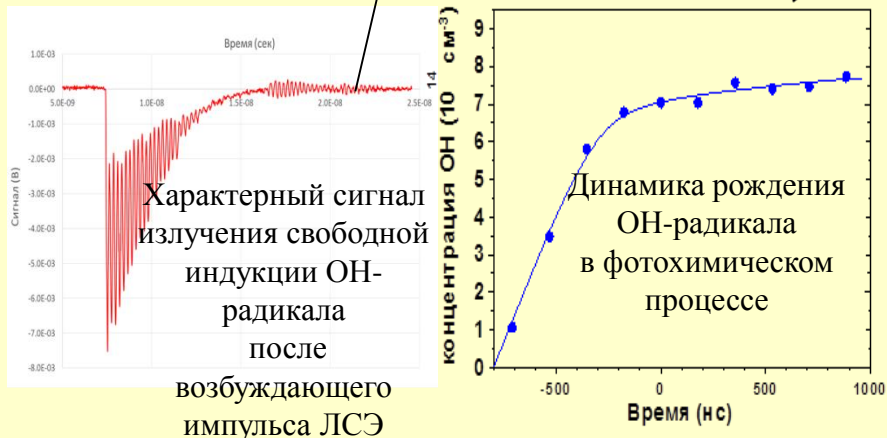
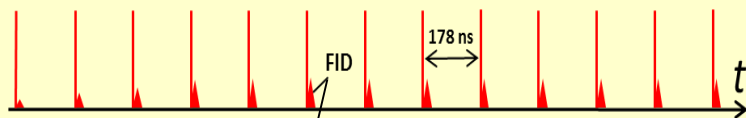
Первый лазерный терагерцовый разряд (декабрь 2019 г.)

«Инфраструктурные» гранты РФФ:

Исследование важных для процессов горения реакций свободных радикалов методами, основанными на когерентных оптических эффектах в терагерцовой области (19-73-20060)



Фотохимическая и
Метрологическая станции,
задействованные в эксперименте



Использование магнитного поля (нефарадеевского вращения поляризации) для повышения чувствительности метода (полного подавления возбуждающего импульса ЛСЭ)

E.N. Chesnokov, L.N. Krasnoperov, V.V. Kubarev, "Optical free-induction decay of paramagnetic molecules in magnetic field", Laser Physics 30(1), 2020, p. 015204

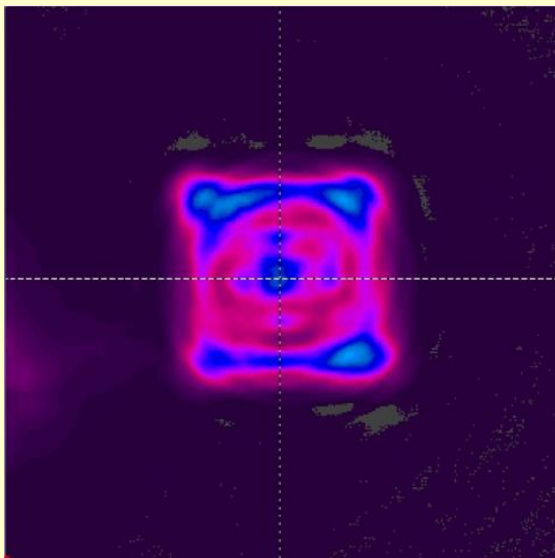
E.N. Chesnokov, L.N. Krasnoperov, V.V. Kubarev, P.V. Koshlyakov, "Ultrafast dynamics of hydroxyl radical observed by its FID radiation in magnetic field, IRMMW-THz-2019, Paris, France

E.N. Chesnokov, L.N. Krasnoperov, V.V. Kubarev, P.V. Koshlyakov, "Observation of Free Induction Decay Signals of Radicals Excited by Terahertz Free-Electron Laser Pulses",

Combustion Explosion and Shock Waves, 55(1), 2019, pp. 1-5

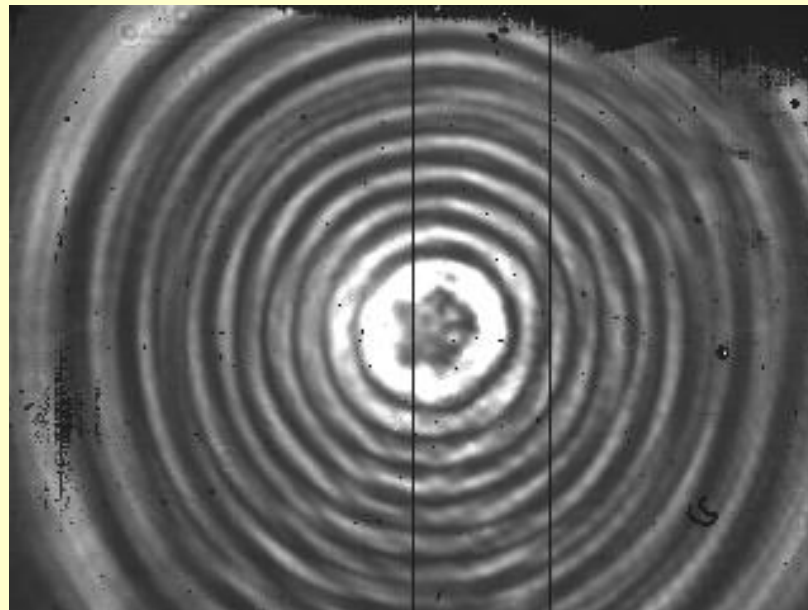
«Инфраструктурные» гранты РФФ:

Разработка, создание и исследование дифракционных оптических элементов (в том числе с субволновым микрорельефом) для управления пучками лазера на свободных электронах дальнего ИК и терагерцового диапазонов



141 мкм

Формирование бесселевого пучка с орбитальным угловым моментом с топологическим зарядом $l = 5$

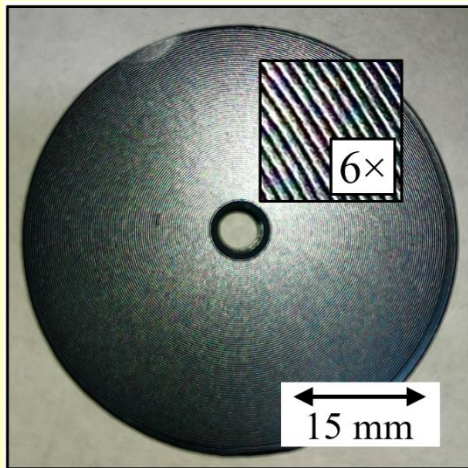


8.5 мкм

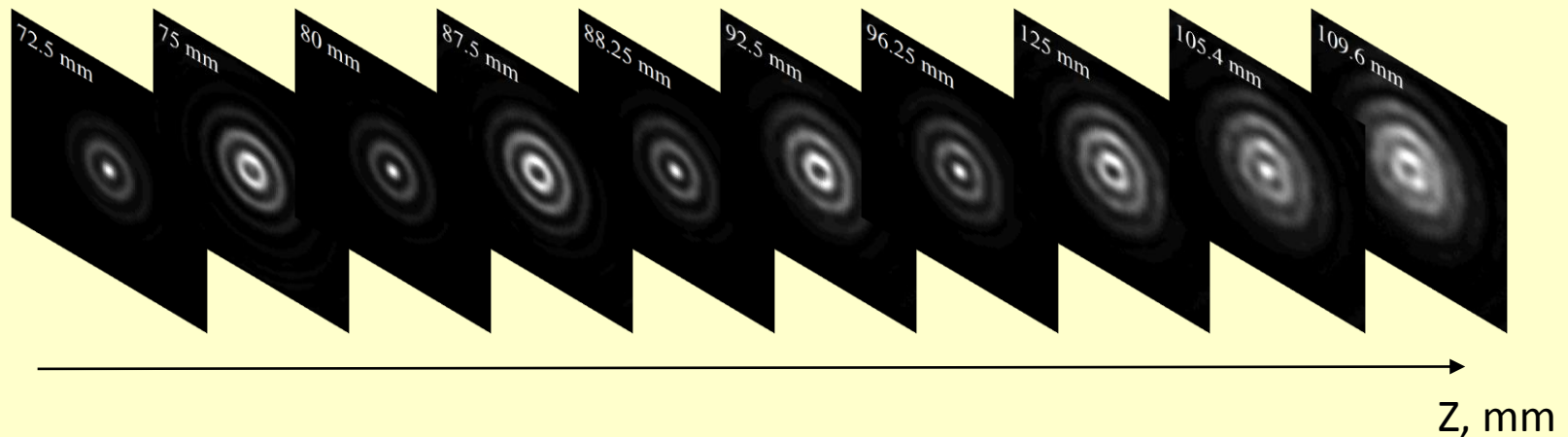
Преобразование гауссова пучка ЛСЭ в однородный квадрат

«Инфраструктурные» гранты РФФ:

Разработка, создание и исследование дифракционных оптических элементов (в том числе с субволновым микрорельефом) для управления пучками лазера на свободных электронах дальнего ИК и терагерцового диапазонов

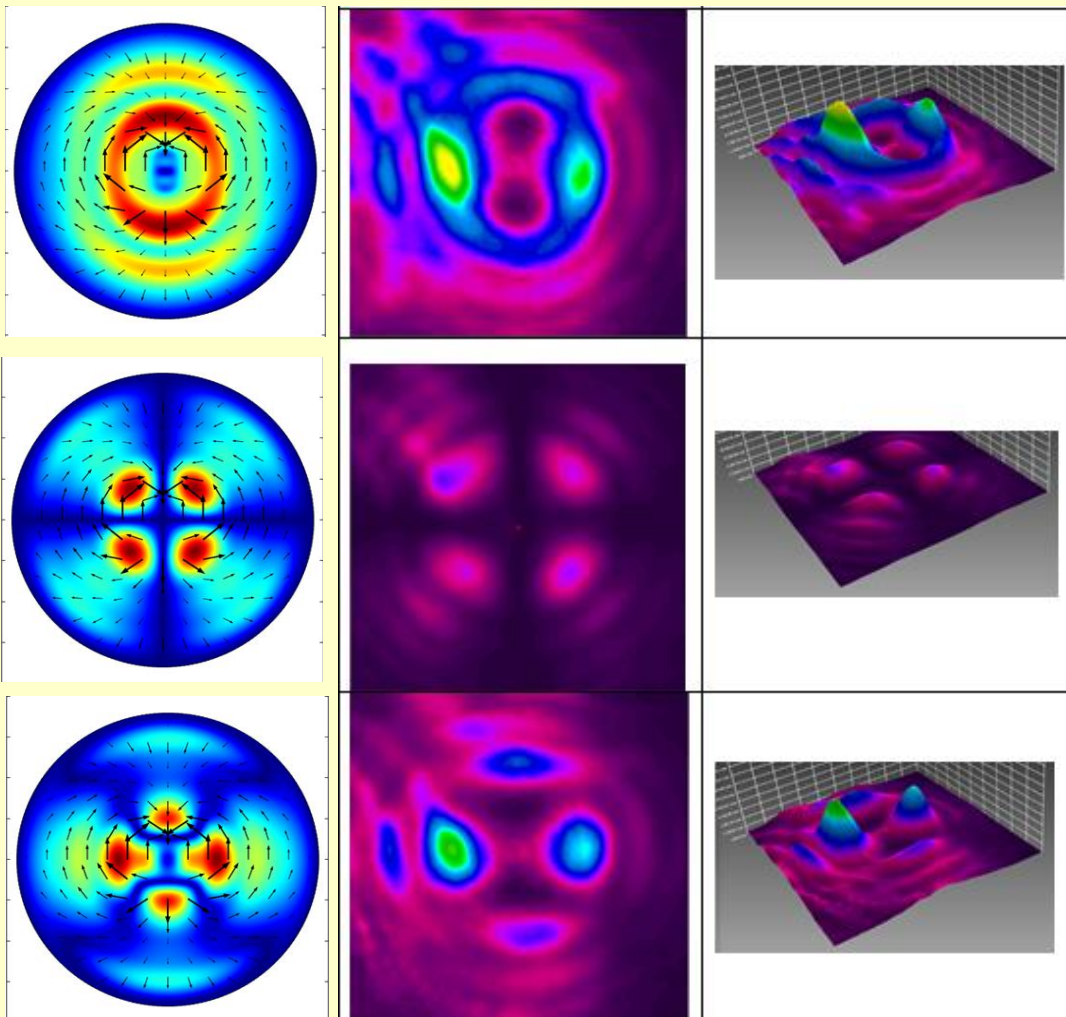
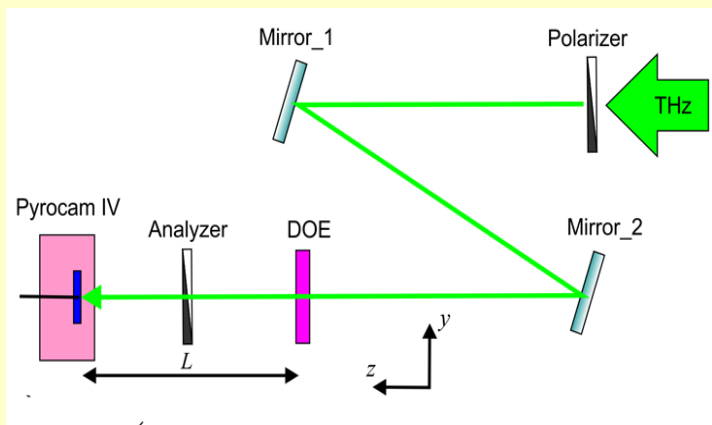


Кремниевый бинарный фазовый аксикон для длины волны 141 мкм с центральным отверстием



Субволновой аксикон как поляризатор

Самарский университет, Институт оптической обработки информации, ИЯФ СО РАН



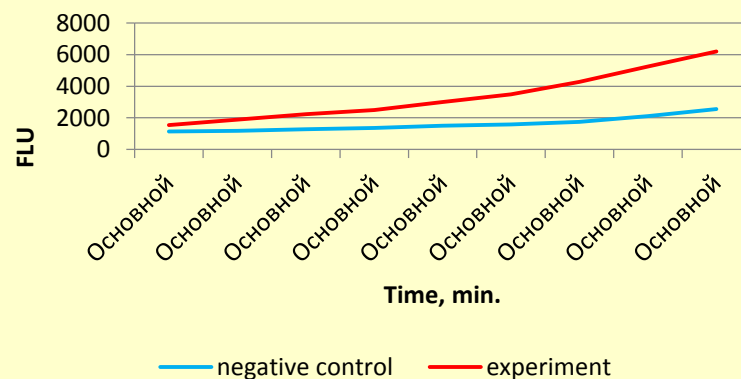
Краткосрочное воздействие ТГИ на *E.coli* JM 109 вызывает изменение экспрессии ферментов метаболизма аминокислот и нуклеотидов бактерии

ИЦиГ СО РАН, ИЯФ СО РАН

Protein	regulation	Mw, kDa	pI	Seq Cov	Score
Glutamine synthetase	+2	5.26	111	57%	51871
Phosphopentomutase	-1.6	5.11	96	38%	44342
Serine hydroxymethyltransferase	-1.7	6.03	111	52%	45316
Cysteine desulfurase	+1.5	5.94	89	43%	45061
Threonine dehydratase	-2.3	5.75	116	69%	35210

конструкция геносенсора *E.coli/glnA-gfp*
на основе промотора гена *glnA*

→ *E. coli/glnA-gfp*

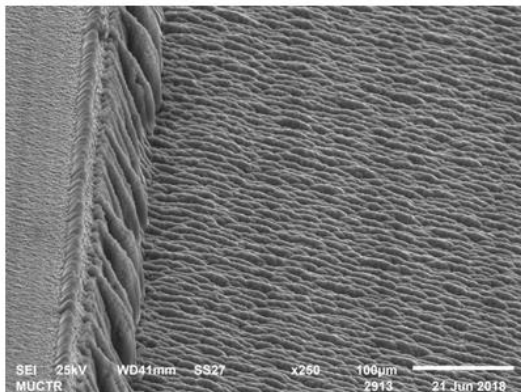


Под воздействием ТГц-излучения в клетках *E.coli* нарабатывается вдвое больше фермента глутамин синтетазы. Этот фермент регулирует соотношение между выработкой энергии и синтезом белка. На основе промотора гена этого фермента сконструирован геносенсор. Геносенсор реагирует на ТГц-излучение биосинтезом флуоресцентного белка, легко тестируемого флуориметрически.

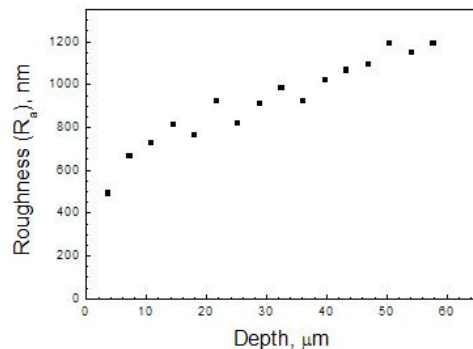
Промотор (англ. **promoter**) — последовательность нуклеотидов ДНК, узнаваемая РНК-полимеразой как стартовая площадка для начала транскрипции.

Алмазные и кремниевые френелевские линзы

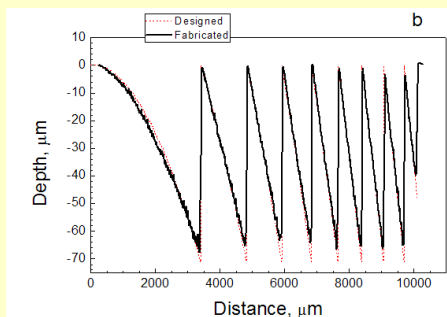
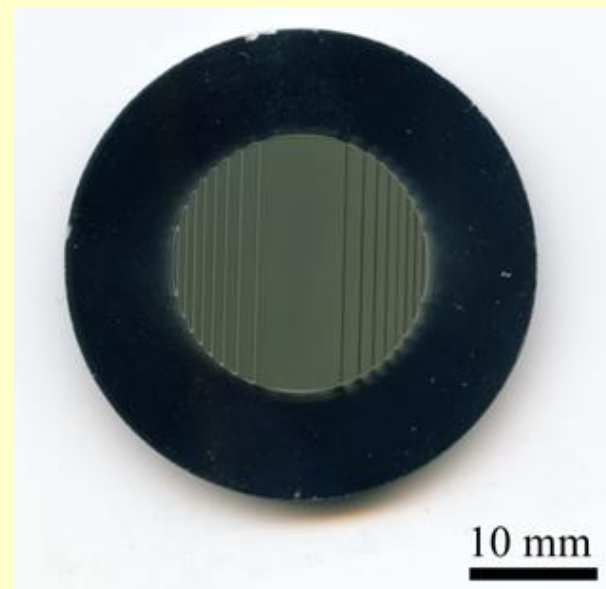
Институт общей физики РАН, Самарский университет, ИЯФ СО РАН



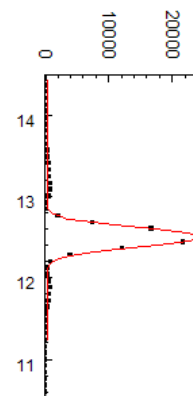
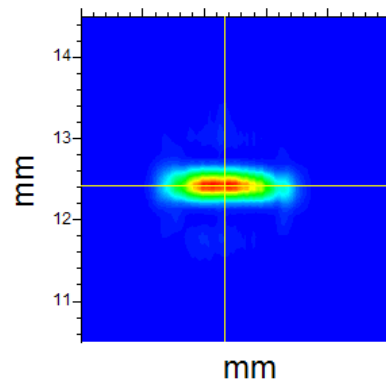
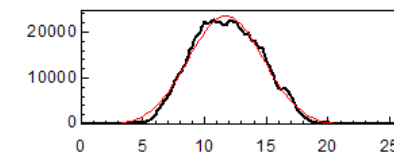
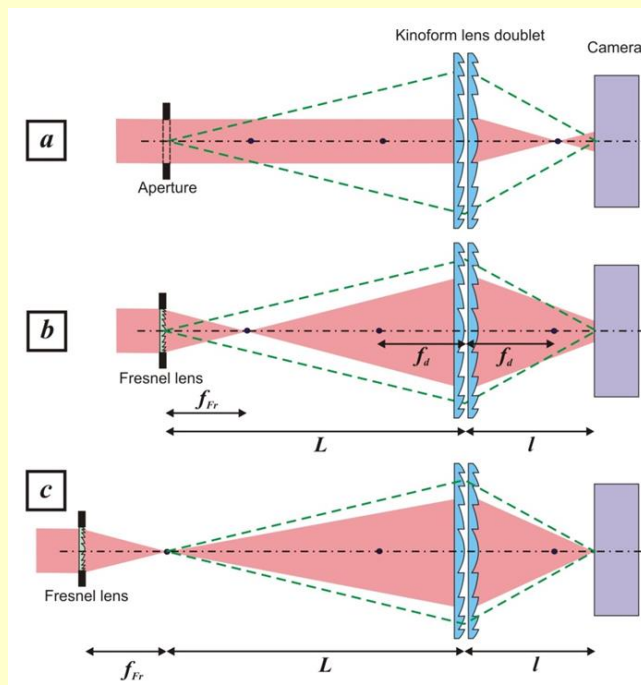
(a)



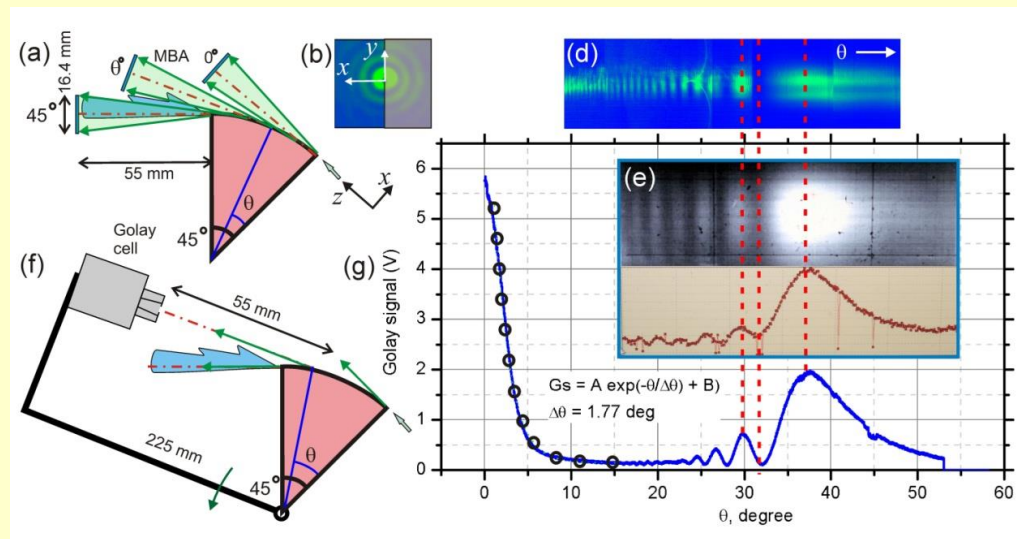
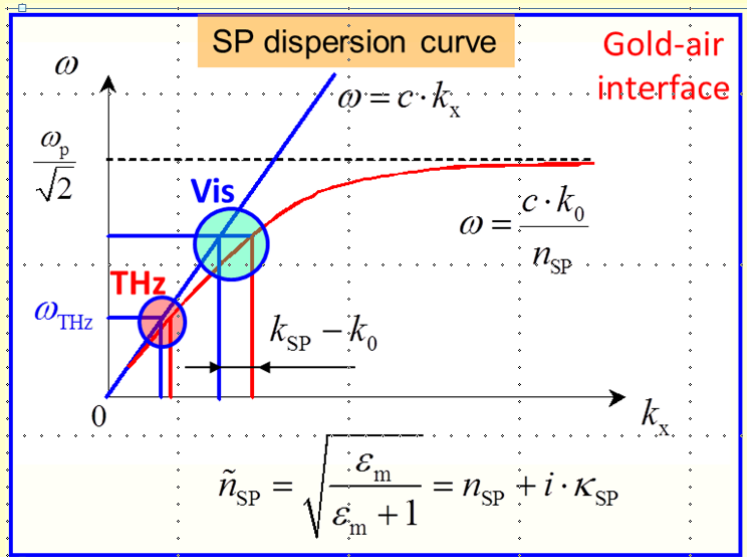
(b)



b



Исследование распространения плазмонов по выпуклым поверхностям



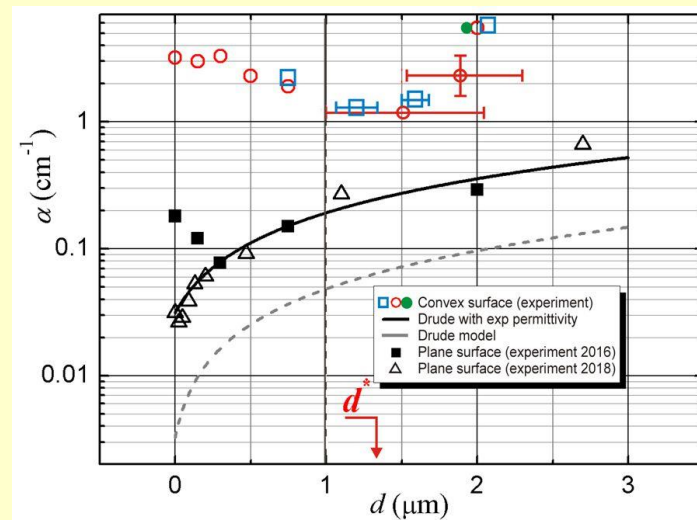
$$\alpha = 2 \text{Im}(k_s)$$

$$\delta = 1/2 \text{Re}(\kappa_1)$$

$$\kappa_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{-\epsilon_1^2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}}$$

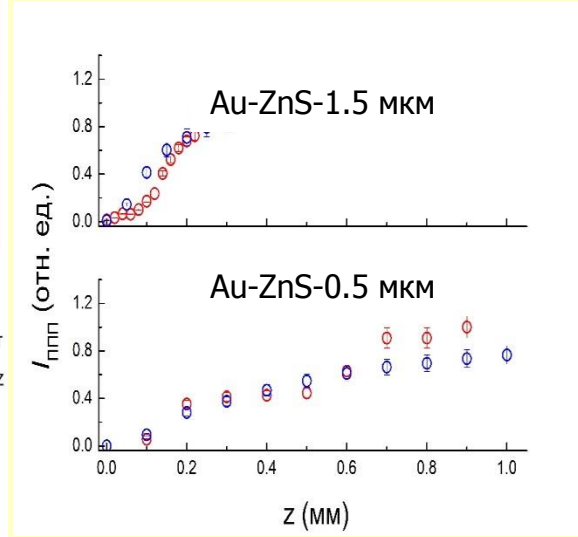
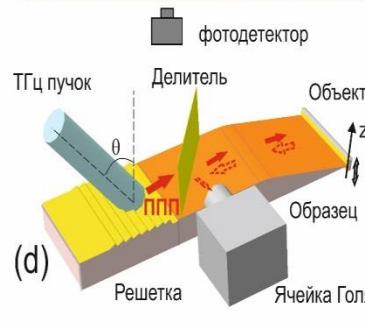
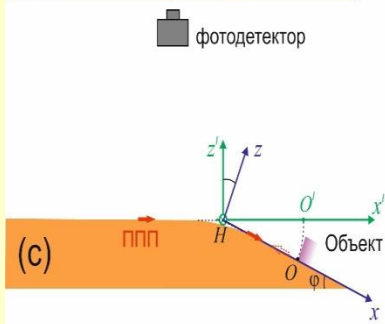
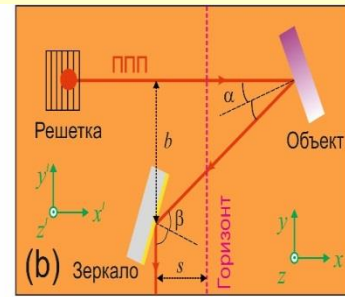
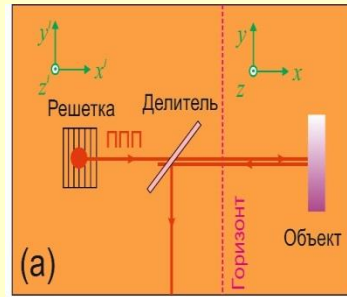
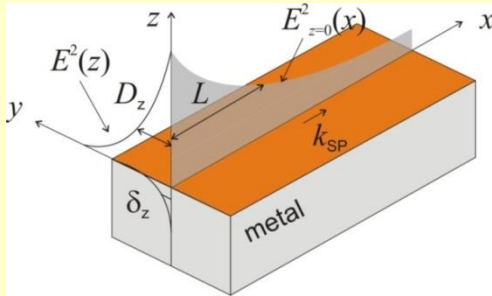
$$k_s = \frac{2\pi}{\lambda} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{-\epsilon_2}} + \frac{\epsilon_d - 1}{\epsilon_d} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} d \right)^2 \right]$$

$$\epsilon_2 \approx 102000 - i \cdot 284000 \quad \epsilon_2^* \approx 7990 - i \cdot 10040$$



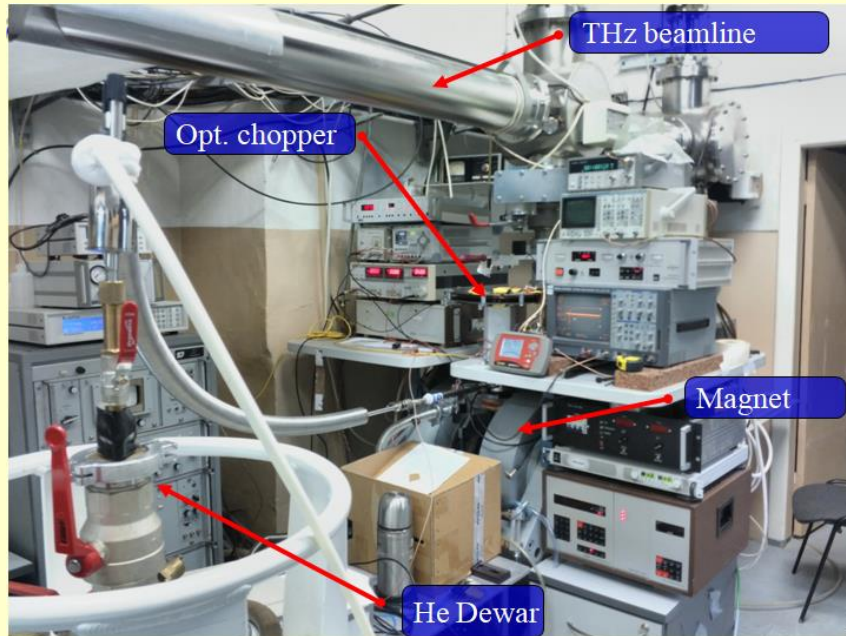
Загоризонтный локатор на поверхностных плазмонах терагерцового диапазона

На Новосибирском лазере на свободных электронах была впервые продемонстрирована возможность создания загоризонтного локатора, где в качестве передаваемого и принимаемого сигналов используются поверхностные плазмон-поляритоны терагерцового диапазона. Предложенные схемы позволяют определять расстояние, ориентацию и высоту объекта, скрытого за линией горизонта.



Слева: Схемы двух конфигураций загоризонтной локализации: (a) грань объекта параллельна линии горизонта; (b) объект расположен под углом к линии горизонта; (c) вид сбоку; (d) 3D вид для схемы (a). Точка O проекция объекта на ось x' . Справа: измеренное распределение интенсивности сигнала, отраженного от плоского объекта, находящегося за линией горизонта на образцах с покрытием Au-ZnS-1.5 мкм и Au-ZnS-0.5 мкм.

Рабочие станции томографического центра



ЭПР-станция



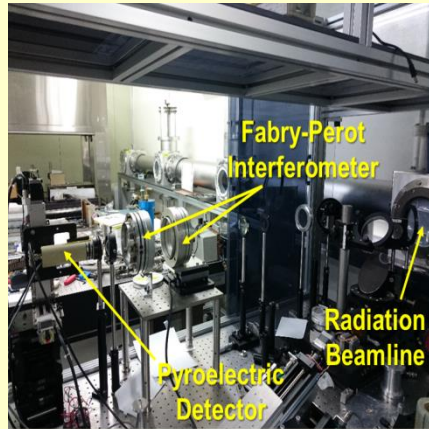
SQUID-магнитометрия

Заключение

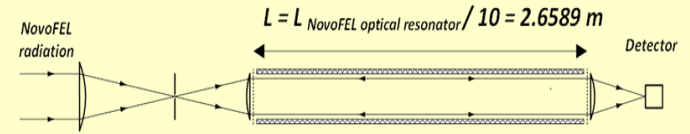
- В настоящее время спектральный диапазон генерации ЛСЭ расширен
- ЛСЭ по-прежнему является самым мощным источником монохроматического терагерцового излучения в мире
- Пользователи могут проводить эксперименты при длинах волн, лежащих в интервале $\lambda = 8-11, 37-80, 90-280 \mu\text{m}$
- 13 рабочих станций, достаточно хорошо укомплектованных оборудованием, используются многими исследовательскими группами из России и зарубежными исследователями

Тонкая и сверхтонкая структура спектров излучения ЛСЭ

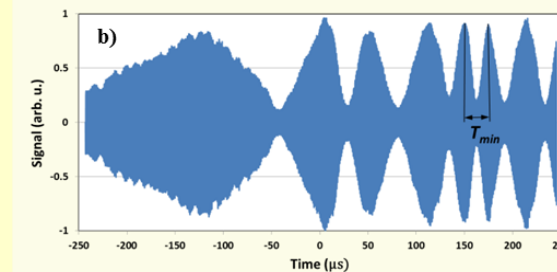
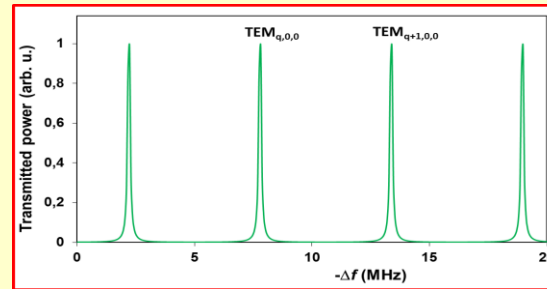
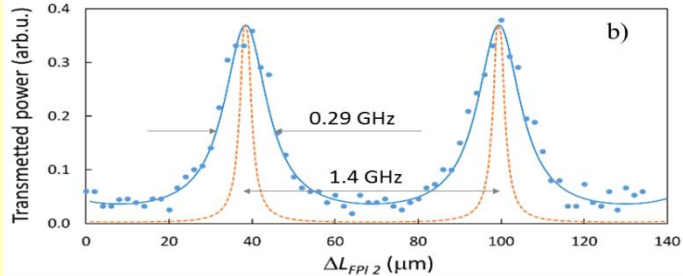
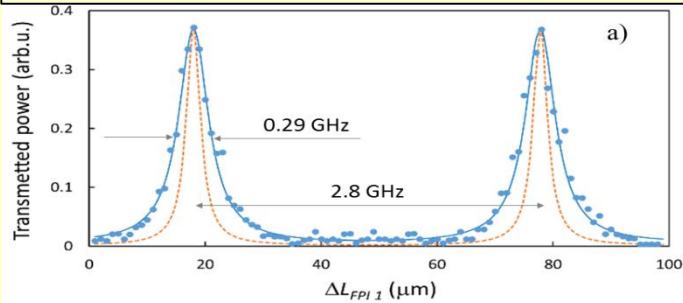
Использование резонансных интерферометров Фабри-Перо для измерения тонкой структуры спектров излучения ЛСЭ KAERI



Использование сверхдлинного резонансного вакуумного волноводного интерферометра Фабри-Перо для измерения сверхтонкой структуры спектра НЛСЭ



10 coherent intra-cavity pulses (1/5 part)
Monochromaticity of fine structure = $0.29 \text{ GHz} / 2.9 \text{ THz} = 10^{-4}$



Hyperfine coherency time:	$T_{min} = 25 \mu\text{s}$
Average number of coherent output pulses in one-pulse 5.6-MHz regime:	140
Coherency length:	7 km
Monochromaticity of hyperfine comb-structure:	$2.2 \cdot 10^{-8}$ (40 kHz)