



Новосибирский ЛСЭ

Лаборатория 8-1

О.А. Шевченко





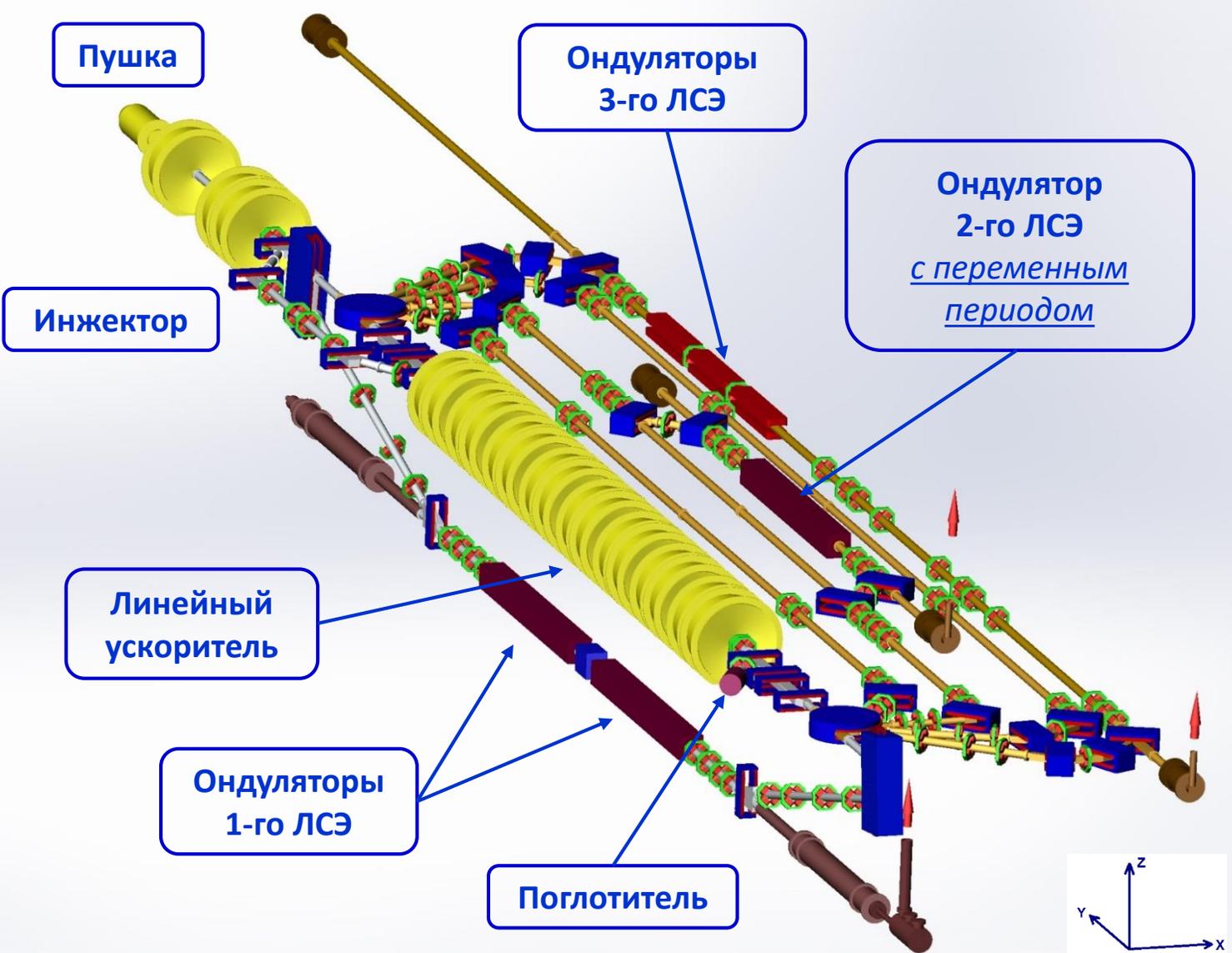
Содержание доклада

1. Устройство и основные параметры Новосибирского ЛСЭ
2. Работа по настройке и модернизации ускорителя
3. Работа пользователей
4. Планы на следующий год

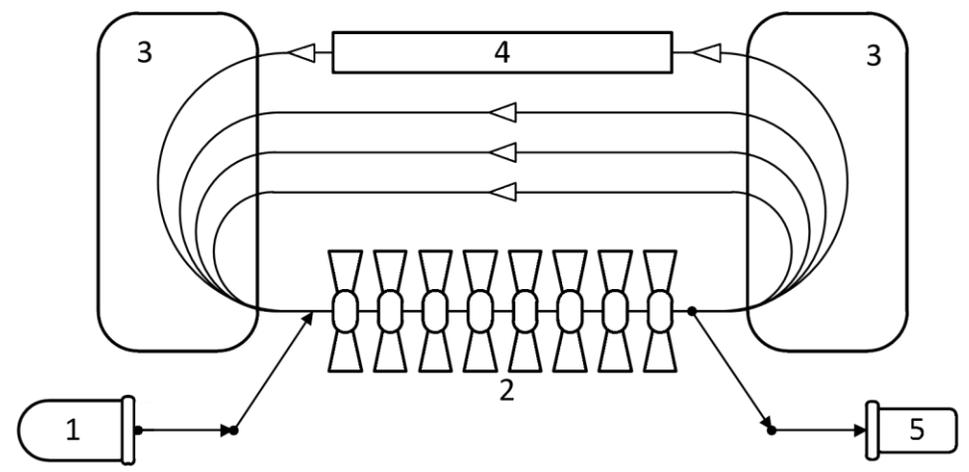


1.

Новосибирский ЛСЭ

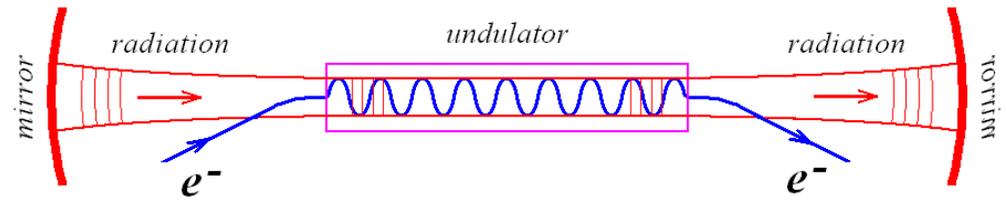


Ускоритель рекуператор



1 – инжектор, 2 – линак, 3 – поворотные магниты, 4 – ондулятор, 5 – поглотитель

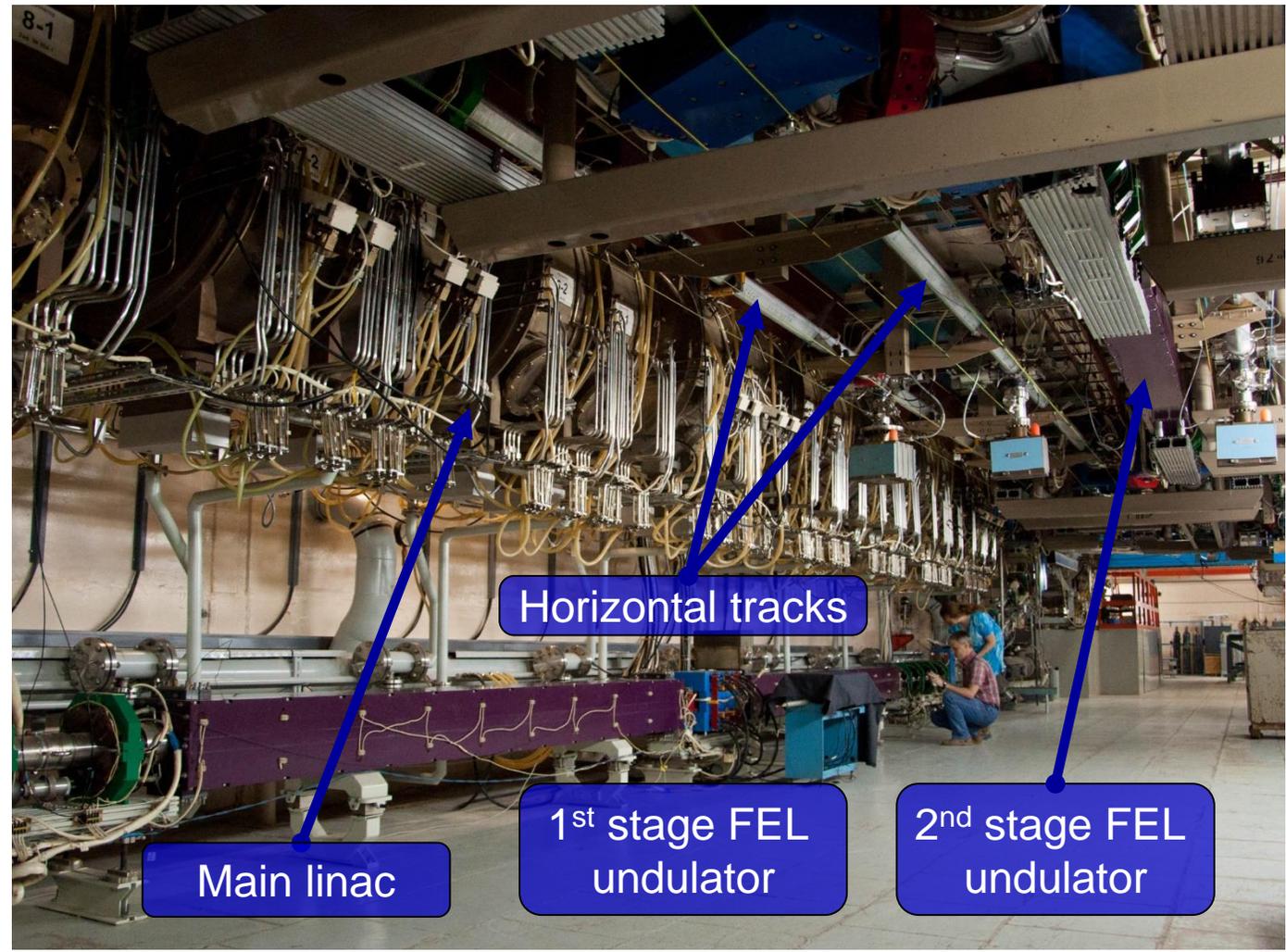
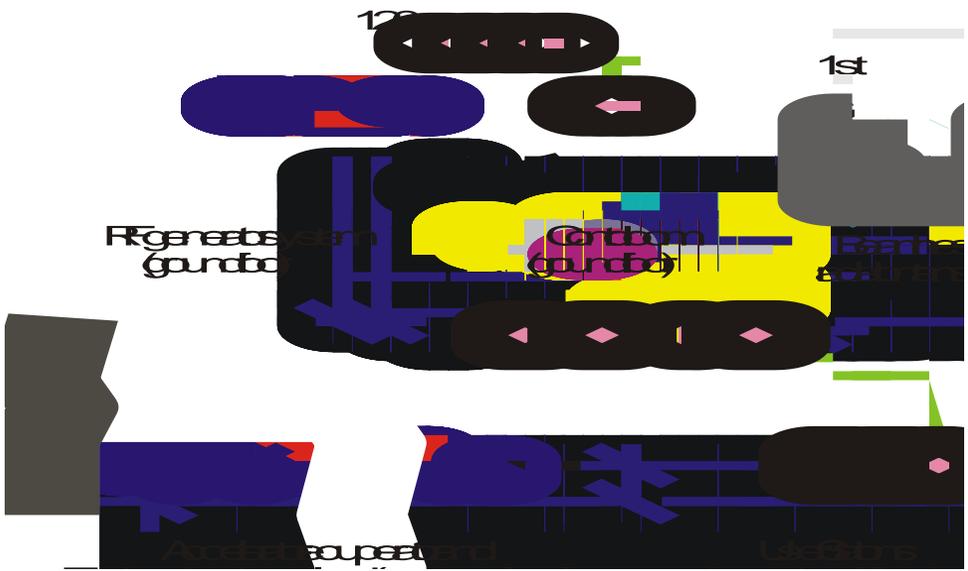
ЛСЭ - осциллятор



$$\lambda_0 \approx \frac{\lambda_w}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right)$$

1.

Сибирский Центр Фотохимических Исследований



1.

Параметры электронного пучка и излучения ЛСЭ

	1-й ЛСЭ	2-й ЛСЭ	3-й ЛСЭ
Энергия, МэВ	7.7 - 12	18 - 22	42
Средний ток, mA	30	10	3
Длина волны, μm	90 - 400 (90 - 340) (90 - 240)	15 - 158 (15 - 120) (37 - 80)	8 - 11
Мощность излучения, кВт	0.5	2* (0.86*)	0.1
Электронный КПД, %	0.6	2.8	0.2

* Средняя мощность макроимпульса



Параметры излучения 2-го ЛСЭ

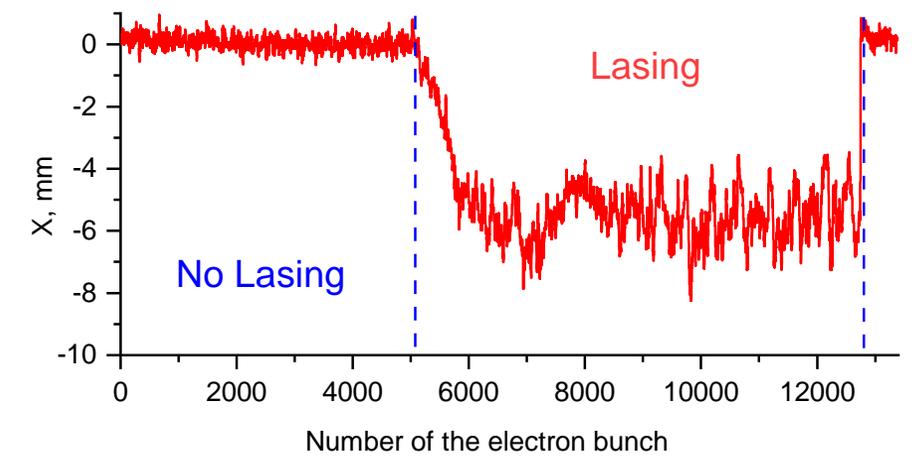
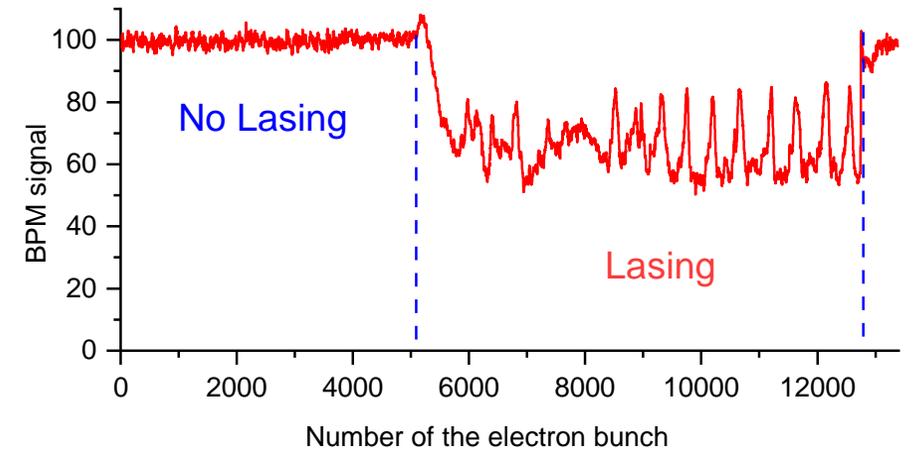
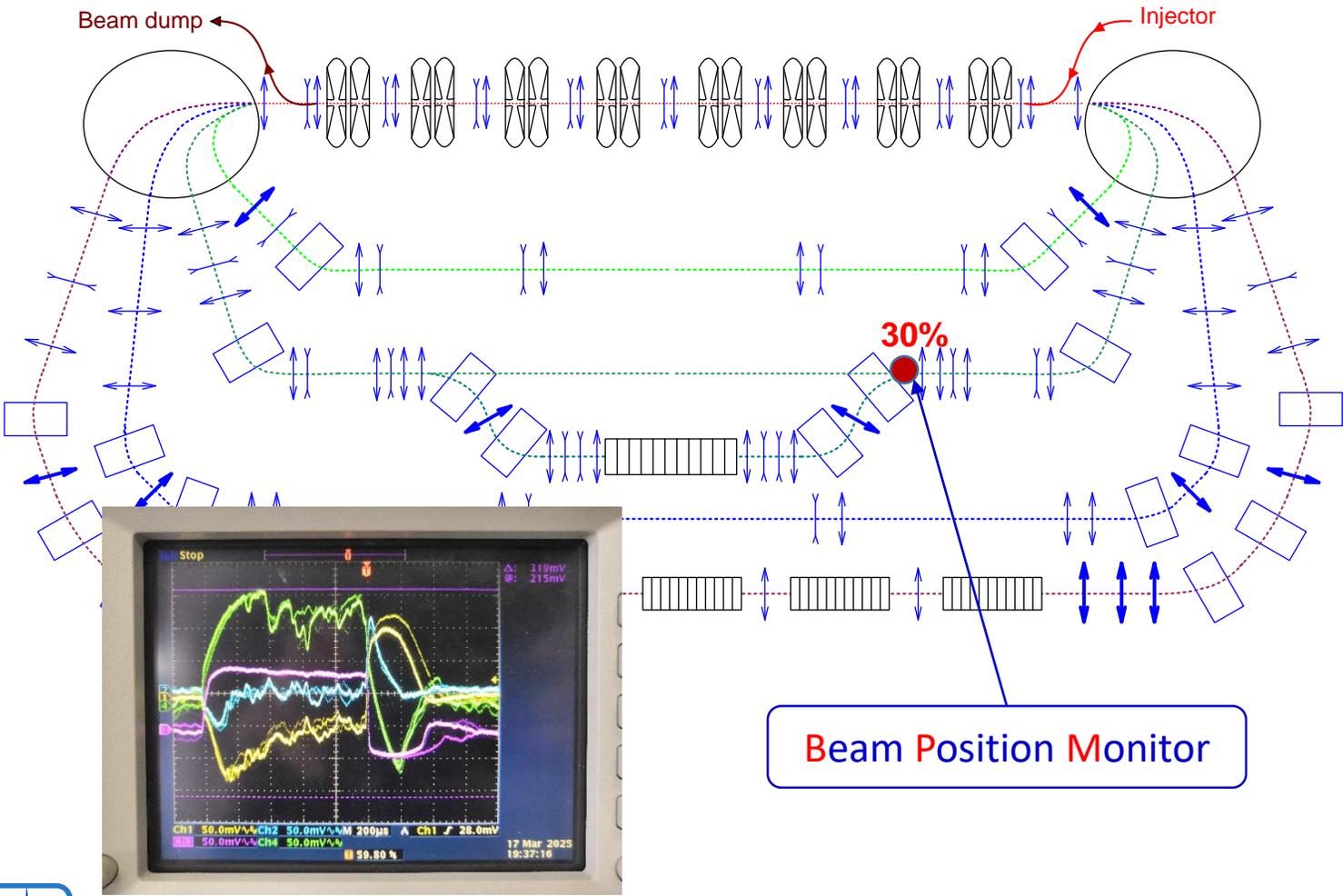
	всего (на станции)
Средняя мощность*, кВт	2 (1.5)
Максимальная импульсная мощность, МВт	3 (2.4)
Длительность импульса, пс (FWHM)	85
Энергия электронов, МеВ	19
Заряд одного сгустка, нКл	1.3
Средний ток пучка, мА	9.8
Электронный КПД, %	2.8

* Средняя мощность макроимпульса. Все результаты получены в режиме модуляции мощности со скважностью 50 (длительность генерации 1 мс, период между запусками 50 мс), длина волны 69 мкм.



Изучение и оптимизация режимов работы 2-го ЛСЭ

Потери пучка из-за взаимодействия с излучением

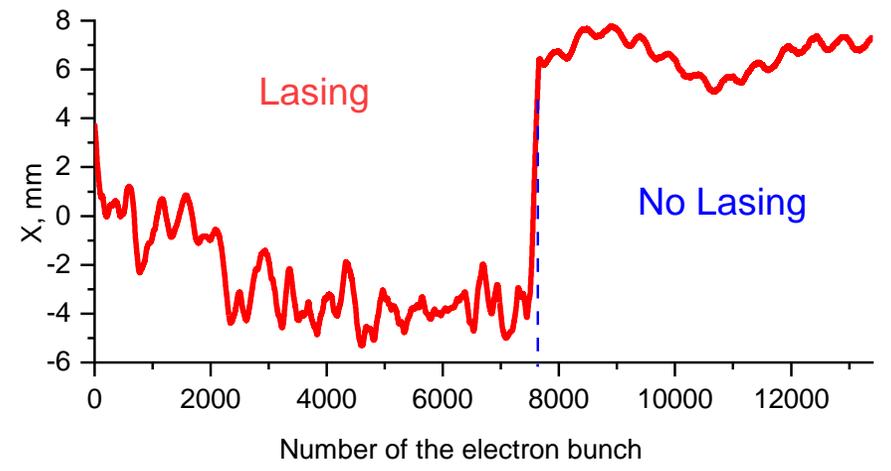
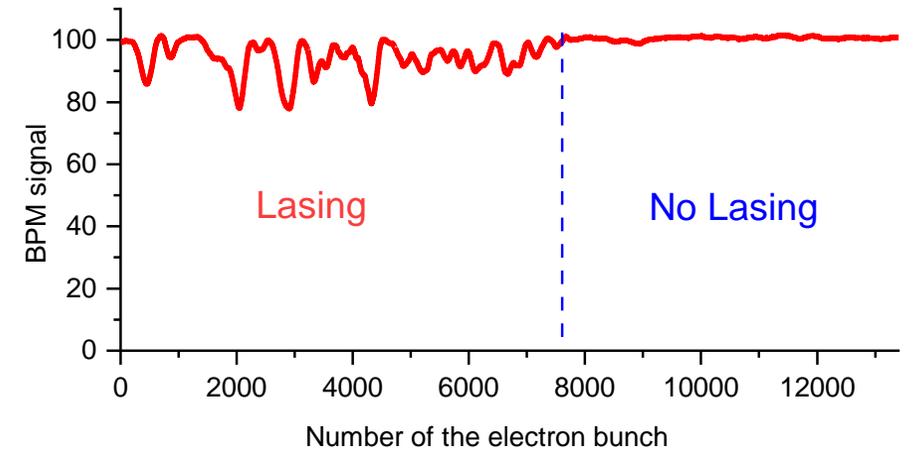
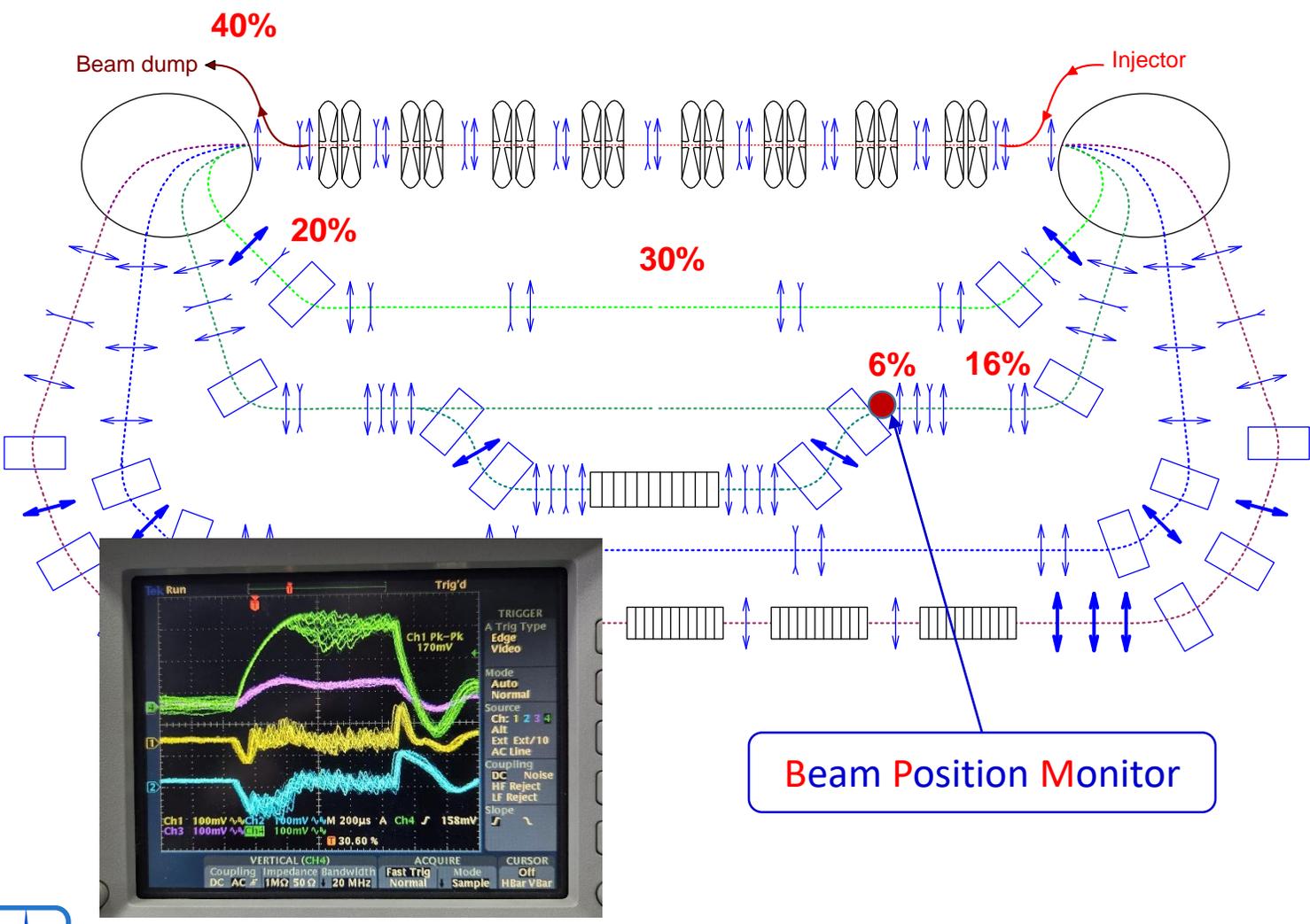


Beam Position Monitor

2.

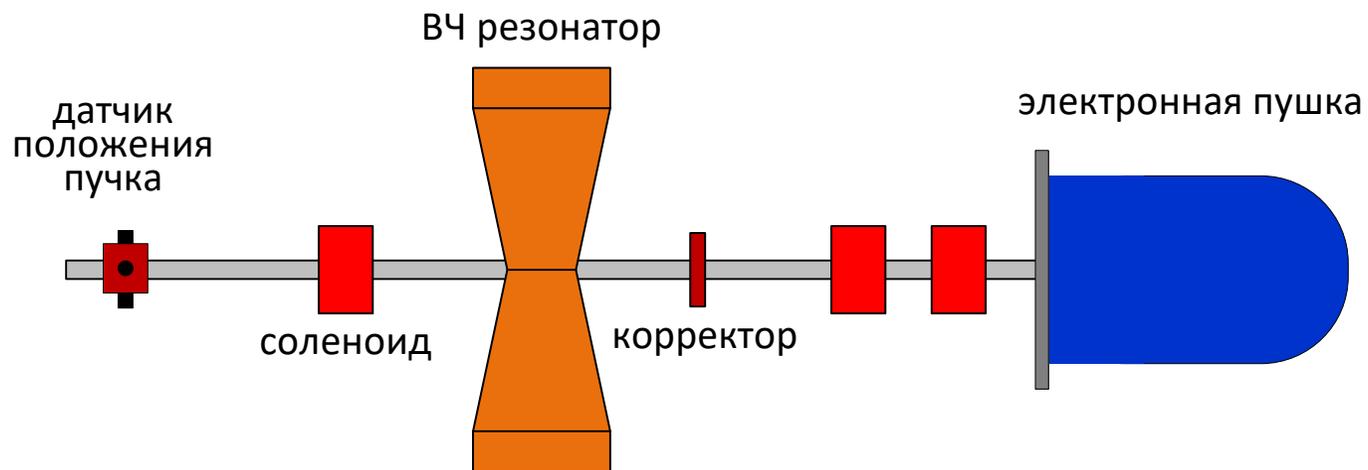
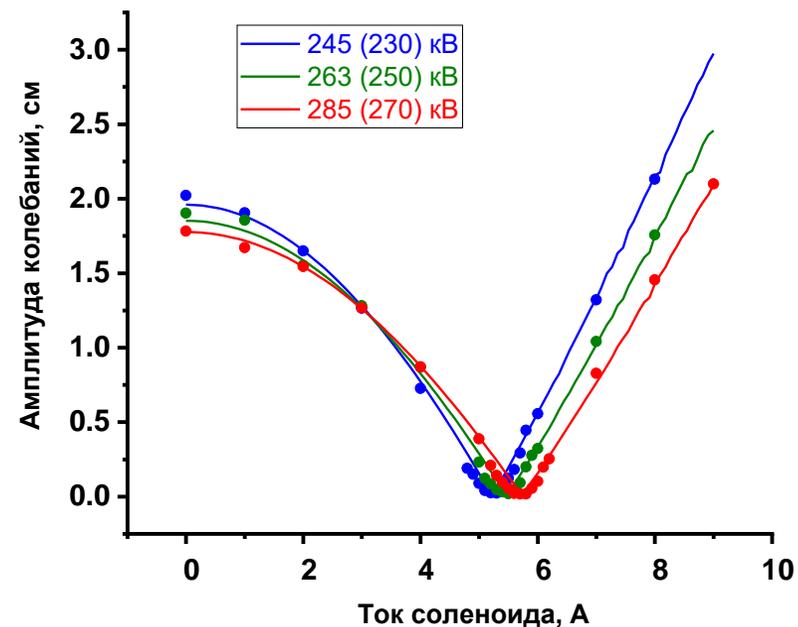
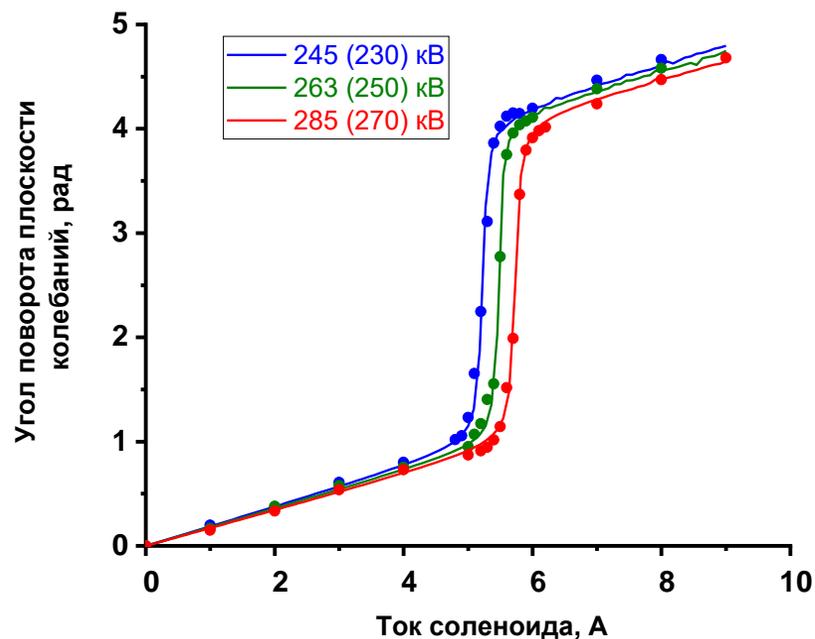
Изучение и оптимизация режимов работы 2-го ЛСЭ

Потери пучка из-за взаимодействия с излучением



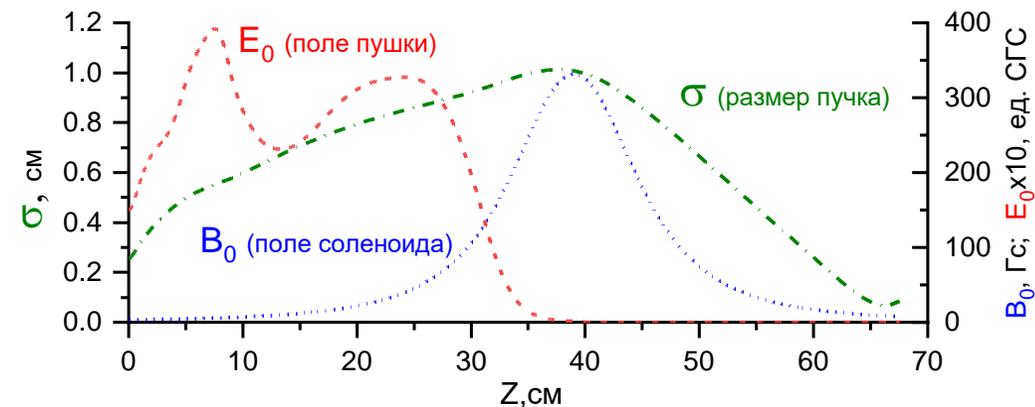
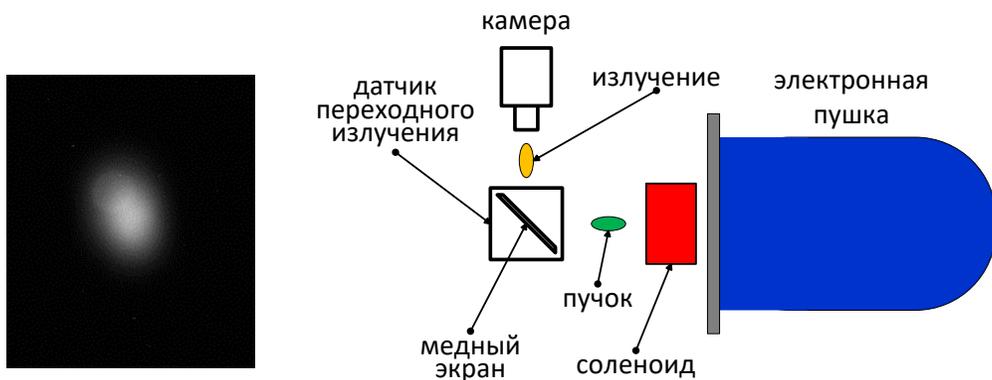
Beam Position Monitor

Измерение энергии пучка в электронной пушке

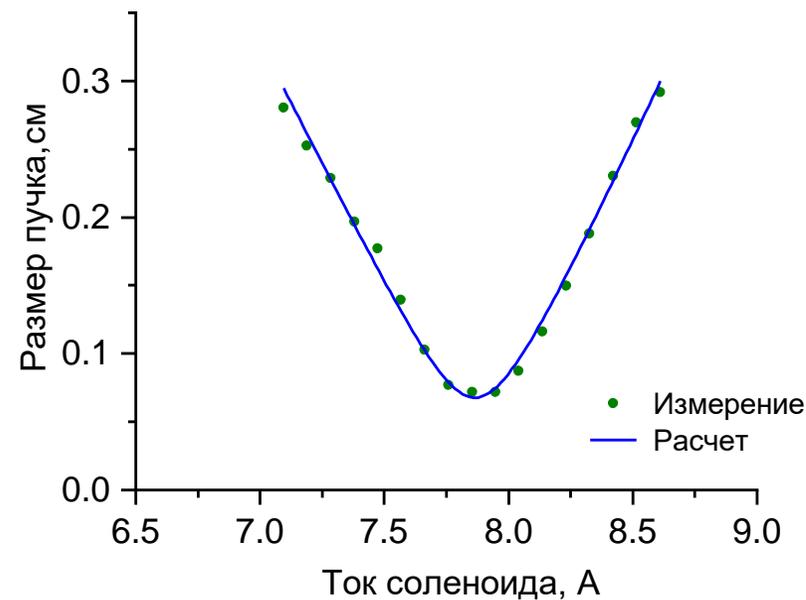


2.

Измерение эмиттанса пучка в электронной пушке



Кинетическая энергия электронов, кэВ	285
Пиковый ток пучка, А	0.9
Размер пучка на катоде, (rms) см	0.25
Радиус катода, см	0.5
Нормализованный эмиттанс, (rms) $\mu\text{м}$	30



Замена катода в электронной пушке



- Все операции проведены в атмосфере сухого азота с контролем влажности
- Подъем накала после установки катода в пушку занял около 2-х недель
- Получен заряд в сгустке **2** нКл

Вскрытие лампы с включенным накалом (напряжение ~ 3 В) даже без использования сухого азота позволяет избежать отравления катода. Выход на рабочие параметры при использовании данной технологии происходит за 24 часа.

2.

Модернизация ВЧ генераторов (ближайшие планы)



ГУ-101А



ГУ-101А



Замена ламп выходных каскадов

~ 2012



TH 781

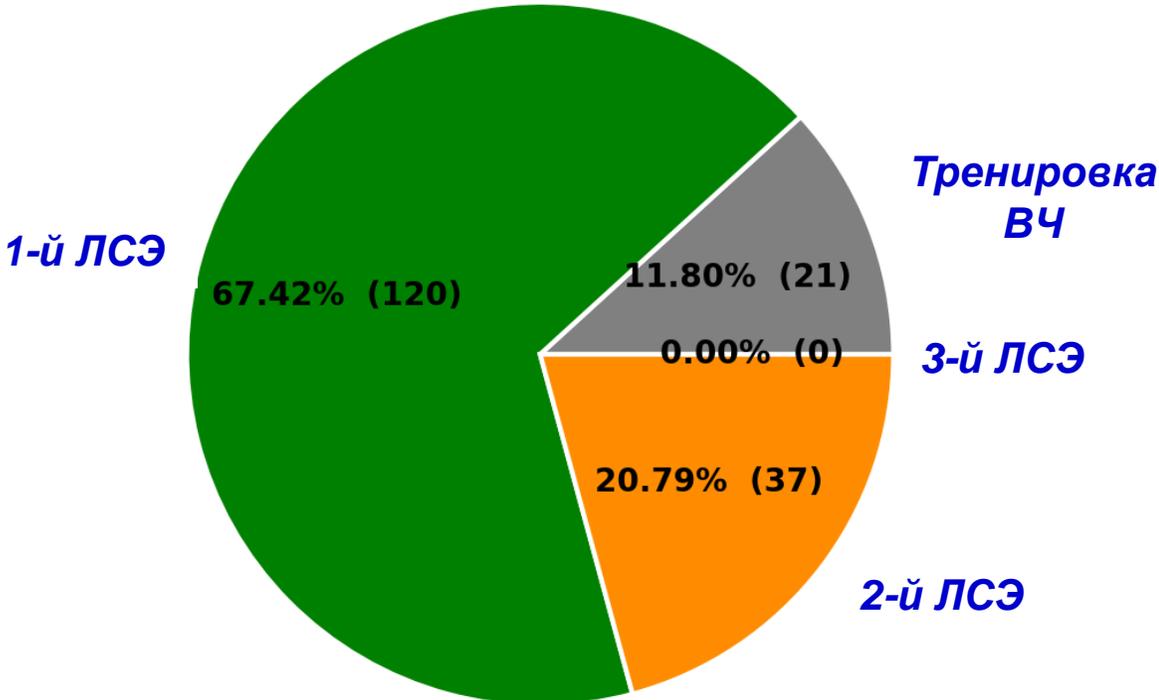


(2025) 2026 - ...



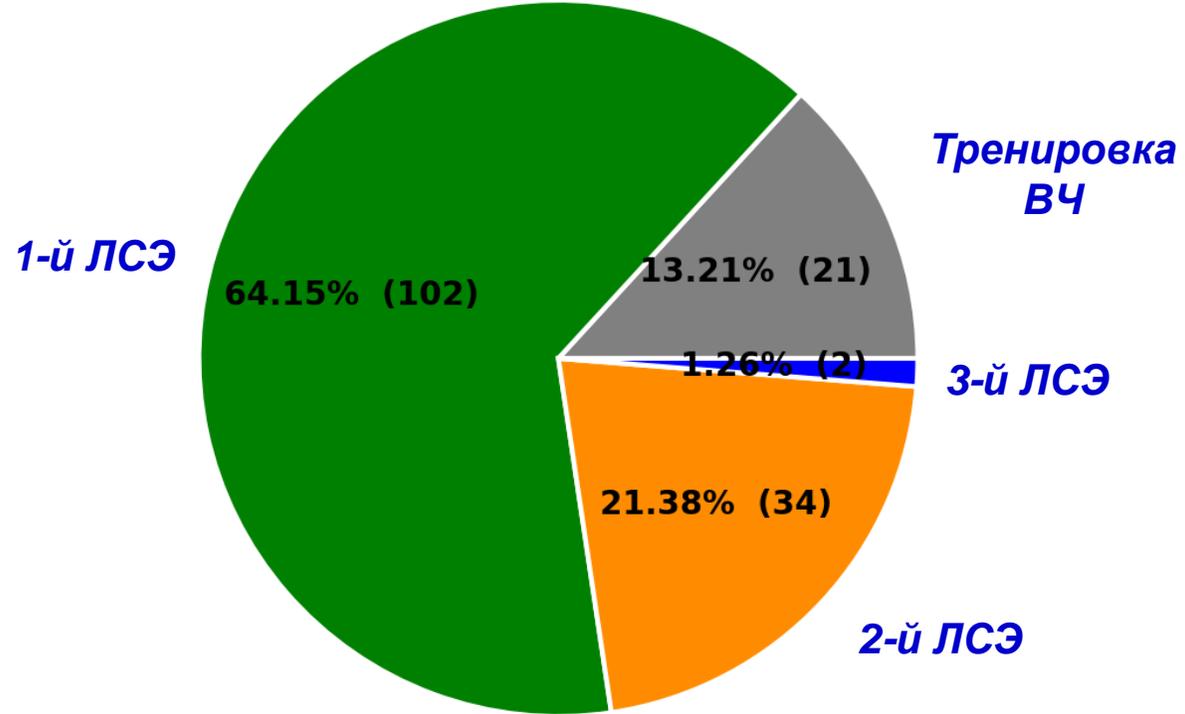
Статистика работы ЛСЭ

Число смен в 2024 г. (всего 157)



1140 часов на пользователей

Число смен в 2025 г. (всего 138)

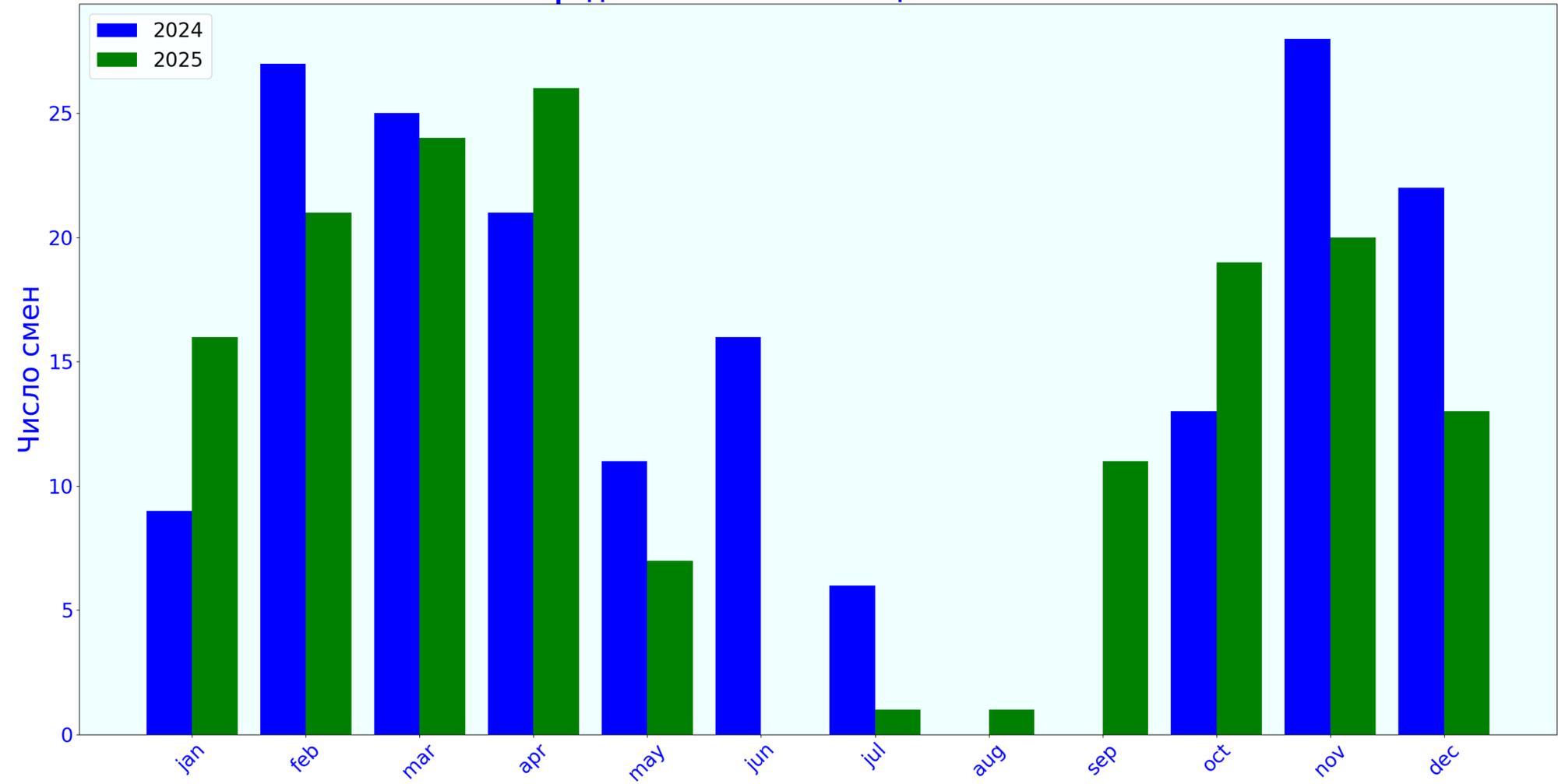


1130 часов на пользователей



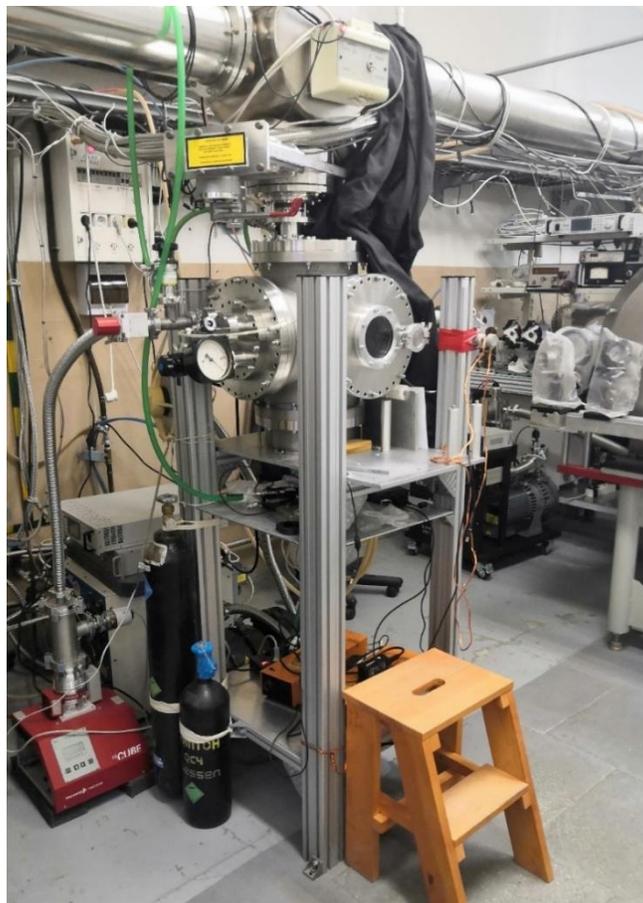
Статистика работы ЛСЭ

Распределение смен по месяцам за 2024 и 2025



3.

Станции пользователей



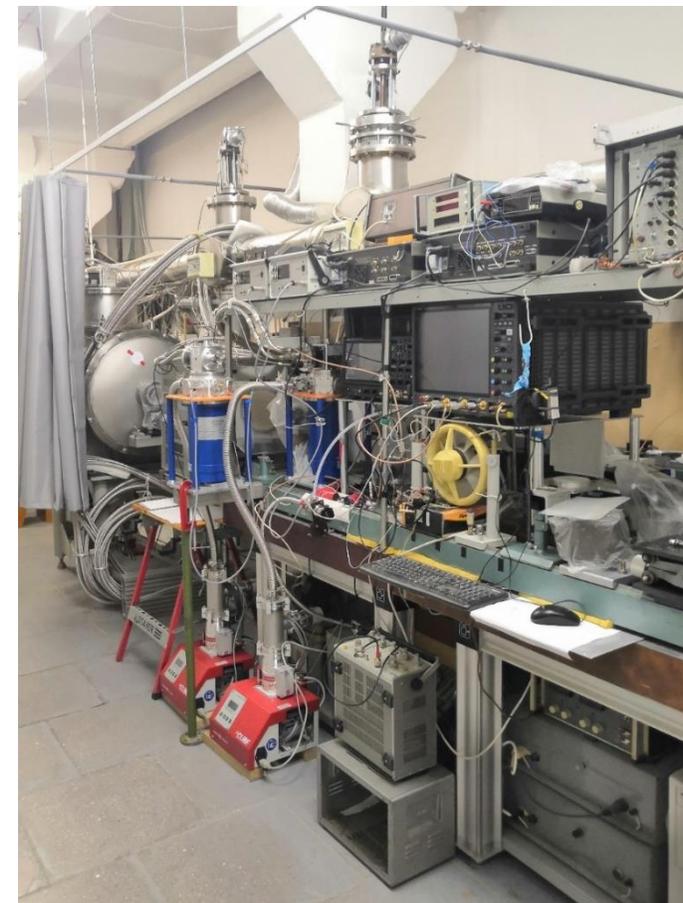
**Исследование
оптического разряда**

сверхпроводящий соленоид
с полем 7.3 Тл



Станции молекулярной спектроскопии и метрологии

(исследование реакций свободных радикалов,
молекулярного гиромagnetизма и т.п.)



Станции пользователей

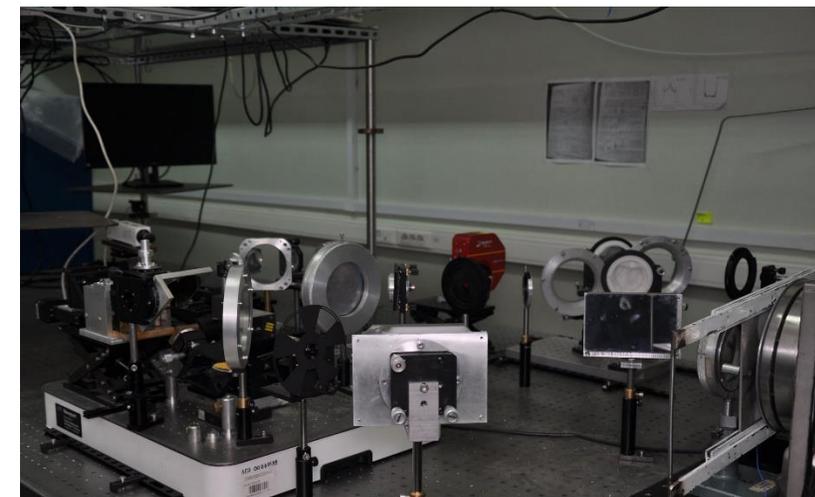


Изучение воздействия ТГц излучения на живые системы



ЭПР спектроскопия

(изучение молекулярных спиновых систем)



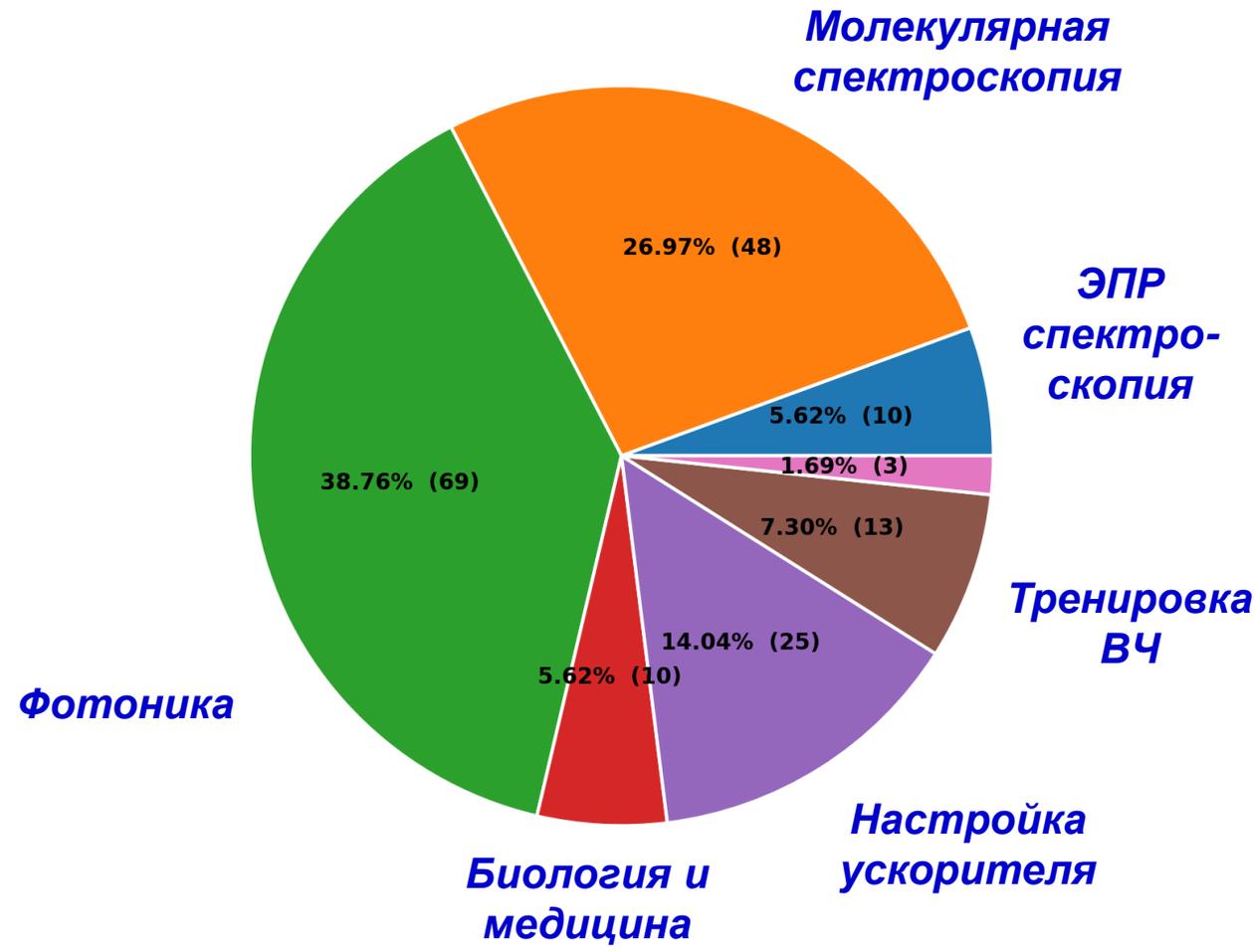
Терагерцовая и инфракрасная фотоника

(исследования по терагерцовой плазмонике, исследование вихревых бесселевых пучков)

3.

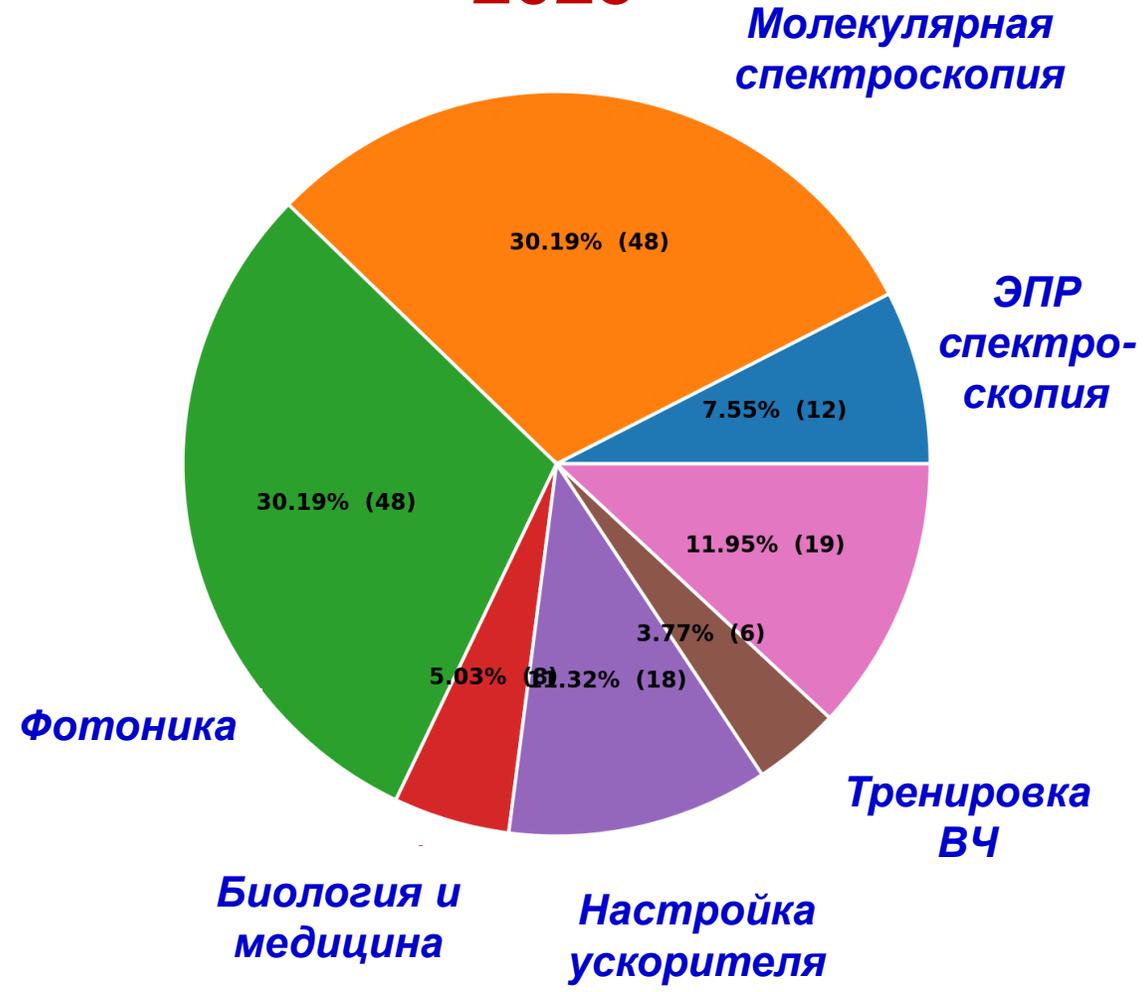
Распределение времени (в днях) по станциям и видам работ

2024



1140 часов на пользователей

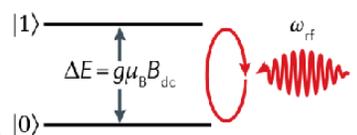
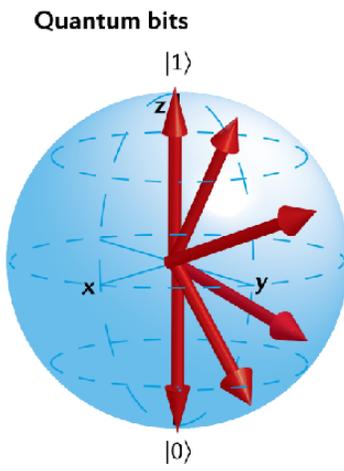
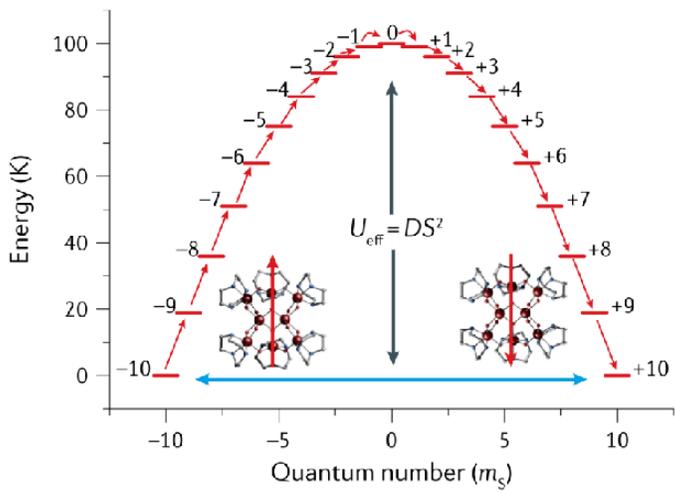
2025



1130 часов на пользователей



Станция ЭПР-спектроскопии



Superposition of states
 $|0\rangle, |1\rangle$
 and
 $|\psi\rangle = a_0|0\rangle + a_1|1\rangle$
 $|a_0|^2 + |a_1|^2 = 1$



Вебер С.И.



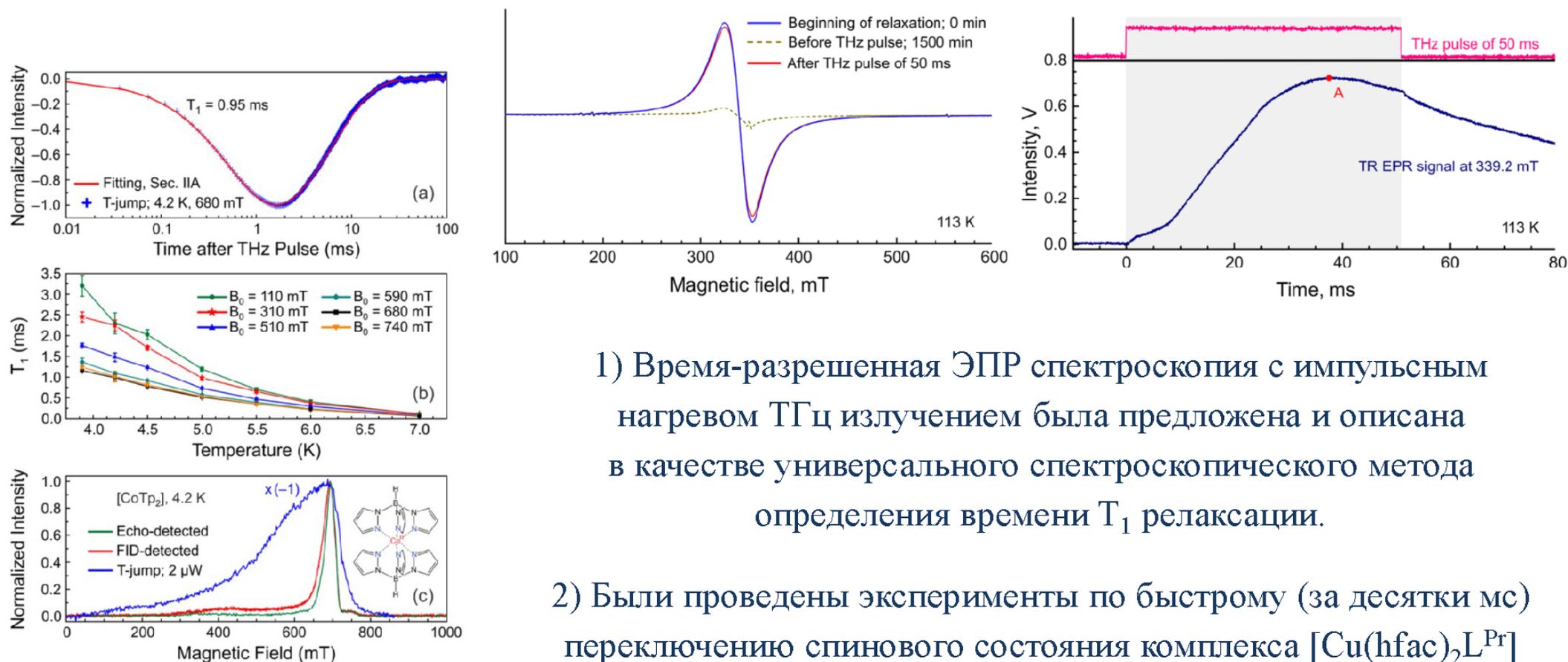
Мельников А.Р.

Объекты: парамагнитные системы с различным спином, в том числе мономолекулярные магниты и молекулярные электронные спиновые кубиты. Особенность исследуемых соединений – наличие линий фоновонного поглощения или энергетическое расщепление спиновых уровней в ТГц диапазоне генерации ЛСЭ

J. Magn. Res. 288, 11–22 (2018); doi: 10.1016/j.jmr.2018.01.009; AIP Conf. Proc. 2299, 030010, (2020); doi: 10.1063/5.0030338



Станция ЭПР-спектроскопии. Основные результаты 2025 года



1) Время-разрешенная ЭПР спектроскопия с импульсным нагревом ТГц излучением была предложена и описана в качестве универсального спектроскопического метода определения времени T_1 релаксации.

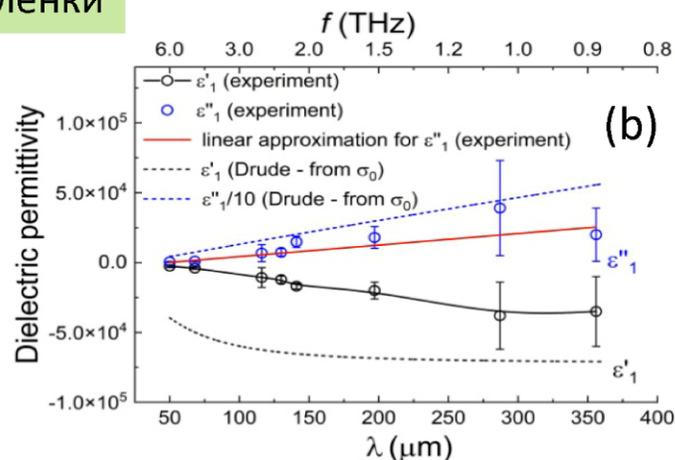
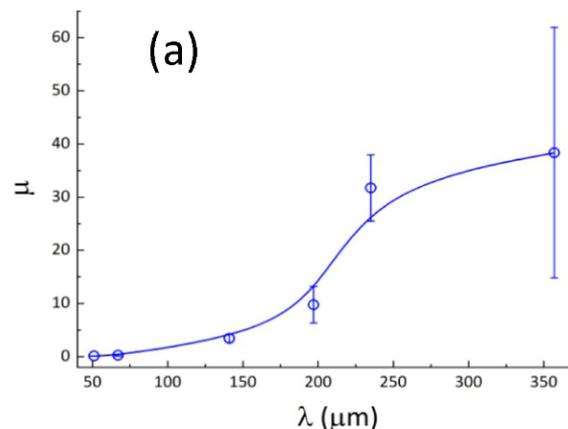
2) Были проведены эксперименты по быстрому (за десятки мс) переключению спинового состояния комплекса $[\text{Cu}(\text{hfac})_2\text{L}^{\text{Pr}}]$ ТГц излучением.

J. Chem. Phys. 163, 164201 (2025); doi: 10.1063/5.0291635; Angew. Chem. Int. Ed. E202514043 (2025); doi.org/10.1002/anie.202514043



ТГц плазмонная рефрактометрия золотых и графеновых пленок

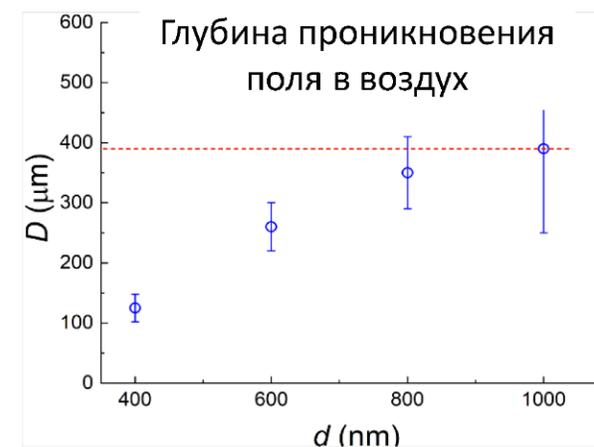
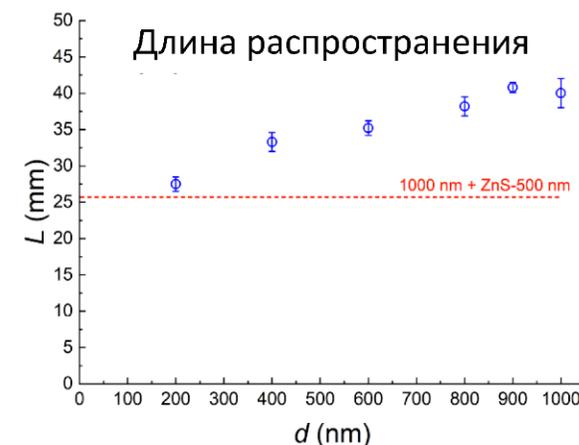
Золотые пленки



Дисперсия радиационных потерь ППП (а); эффективные оптические константы золотых пленок (b).

- С использованием терагерцевого (ТГц) излучения Новосибирского ЛСЭ выполнены исследования дисперсии потерь поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) на золотых пленках, а также измерены их эффективные оптические константы во всем ТГц диапазоне перестройки ЛСЭ (0.8 – 6 ТГц). Эксперименты проводились с использованием разработанного в ИЯФ плазмонного интерферометра Майкельсона и метода экранирования поля ППП.
- Длина распространения (L) и глубина проникновения поля ППП в воздух (D) на композитных пленках из графеновых наночастиц возрастали с увеличением их толщины, достигая насыщения при $d \approx 1000$ нм. По полученным данным были вычислены эффективные комплексные диэлектрические проницаемости данного материала

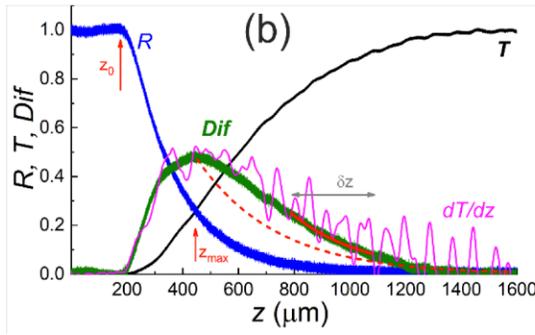
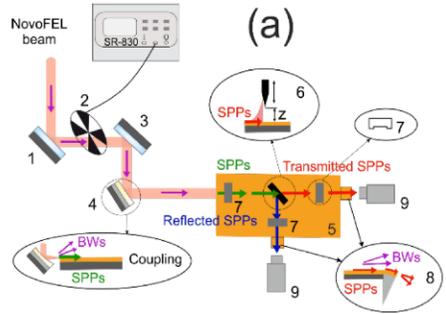
Графеновые пленки





Разработаны и апробированы новые методы

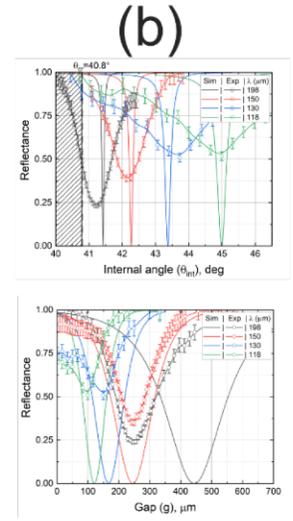
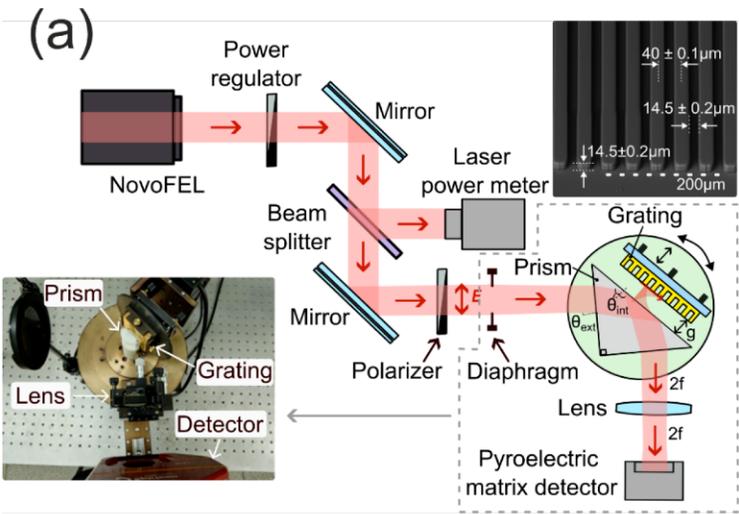
Метод «экранирования поля» для измерения глубины проникновения поля ППП



Оптическая схема метода «экранирования» ППП (a); коэффициенты отражения, прохождения и дифракции ППП, прошедших под проводящим экраном (b).

- Метод «экранирования» поля ППП, с помощью которого измерялась глубина проникновения поля ППП, был дополнен возможностью измерения коэффициента отражения ППП от проводящего экрана, что позволило измерить дифракционные потери и оценить глубину проникновения ППП.
- Была модернизирована установка по измерению поверхностного плазмонного резонанса (ППР) и впервые в ТГц диапазоне частот экспериментально исследованы резонансные свойства металлической прямоугольной субволновой решетки с периодом 40 мкм, шириной канавки 20 мкм и глубиной 14 мкм.

Метод резонансной плазмонной спектроскопии

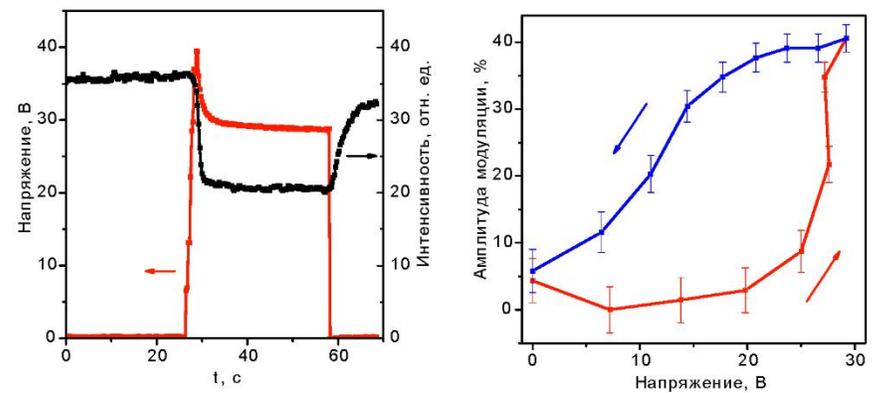


(a) Оптическая схема модернизированного ППП спектрометра; (b) Экспериментальные и расчетные зависимости коэффициентов отражения в зависимости от зазора угла падения θ излучения на решетку и зазора g между призмой и решеткой.



Модуляция ТГц излучения и вихревые пучки

Модуляция излучения при фазовом переходе Пленок диоксида ванадия (VO₂)



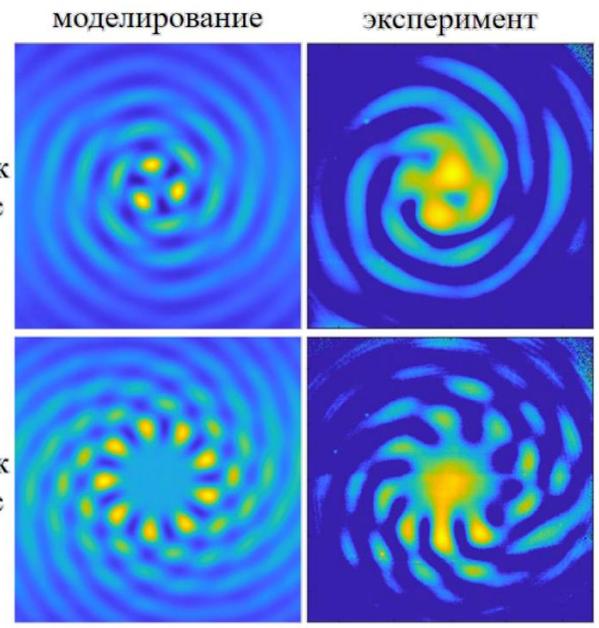
(a) Динамика электрического напряжения, приложенного к пленке VO₂ с электродами, и временная зависимость интенсивности сигнала ТГц-излучения, прошедшего через пленку VO₂ между электродами.
 (b) Зависимость амплитуды модуляции от установившегося падения напряжения на пленке при постепенном изменении напряжения источника.

- С использованием излучения ЛСЭ на длине волны 130 мкм были исследованы модуляционные возможности пленок диоксида ванадия VO₂ при фазовом переходе полупроводник – металл. С ростом напряжения за счет разогрева током пленки VO₂ величина амплитуды модуляции достигает значения ~42%.
- На длинах волн 141 и 203 мкм были исследованы области формирования вихревых бesselевых пучков с топологическими зарядами -3 и -9, сформированными отражающими аксиконами.

Формирование вихревых бesselевых пучков с помощью Отражающих аксиконов



Интерференция бesselева и гауссова пучков (аксикон $p = 3$ мм, $\lambda = 218$ мкм)



Нелинейная оптика на II очереди НЛСЭ. Генерация 3-й гармоники в кристаллах InSb.

Мощное импульсное излучение НЛСЭ на длине волны 69 мкм (до 3 МВт) позволяет генерировать гармоники излучения в материалах. Наибольший эффект (преобразование в несколько процентов) является рекордным в ТГц области и получен в кристаллах InSb при генерации 3-й гармоники. Он позволяет простейшим способом расширить диапазон генерации НЛСЭ.

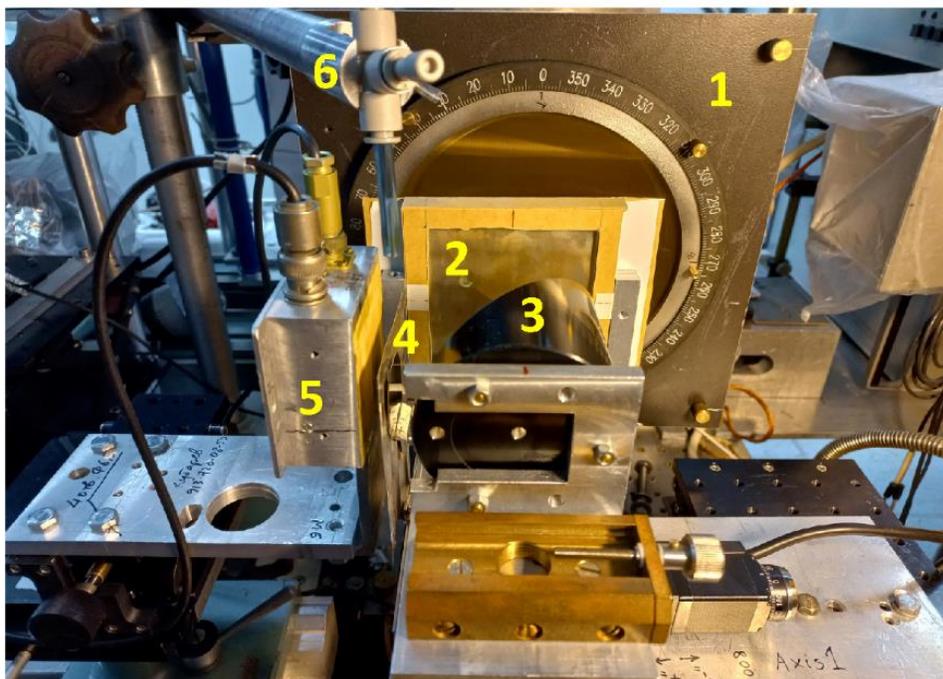


Рис.1. Фото простейшей установки для генерации 3-й гармоники в InSb:

- 1 – выходное окно канала с поляризатором-ослабителем,
- 2 – дихроичный фильтр, 3 – параболическое фокусирующее зеркало,
- 4 – кристалл InSb, 5 – пирозлектрический детектор с фильтром 3-й гармоники,
- 6 – подвод охлажденного азота.

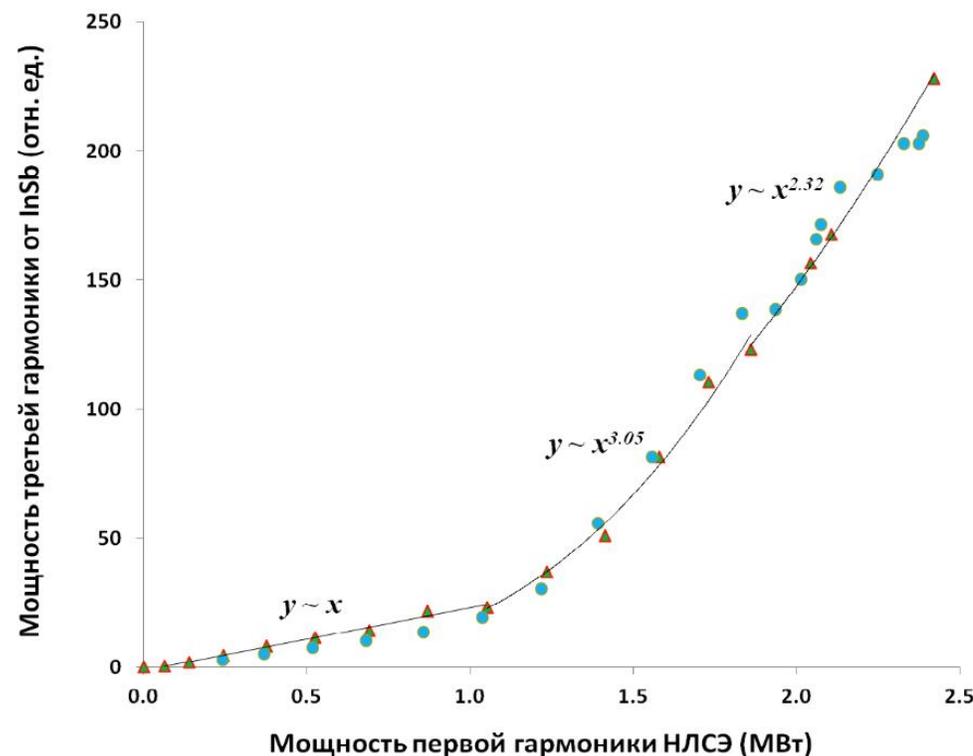


Рис.2. Зависимость мощности 3-й гармоники от мощности 1-й гармоники НЛСЭ

Высокотемпературный терагерцевый лазерный разряд

Мощное излучение НЛСЭ на длине волны 130 мкм (240 Вт/1 МВт) позволяет получать квазинепрерывный высокотемпературный лазерный разряд в инертных газах атмосферного давления. В точечном 1 мм лазерном разряде получены рекордные параметры: температура 8 эВ (93 000 К), плотность плазмы 10^{17} см⁻³ при средней мощности НЛСЭ всего 240 Вт.

Разряд при увеличении температуры до 10-12 эВ (может быть достигнута при удвоении частоты излучения НЛСЭ) будет являться идеальным непрерывным источником ВУФ(VUV)-излучения для фотолитографии. Для создания такого источника требуется создание специальной технологической установки с мощной вакуумной откачкой.

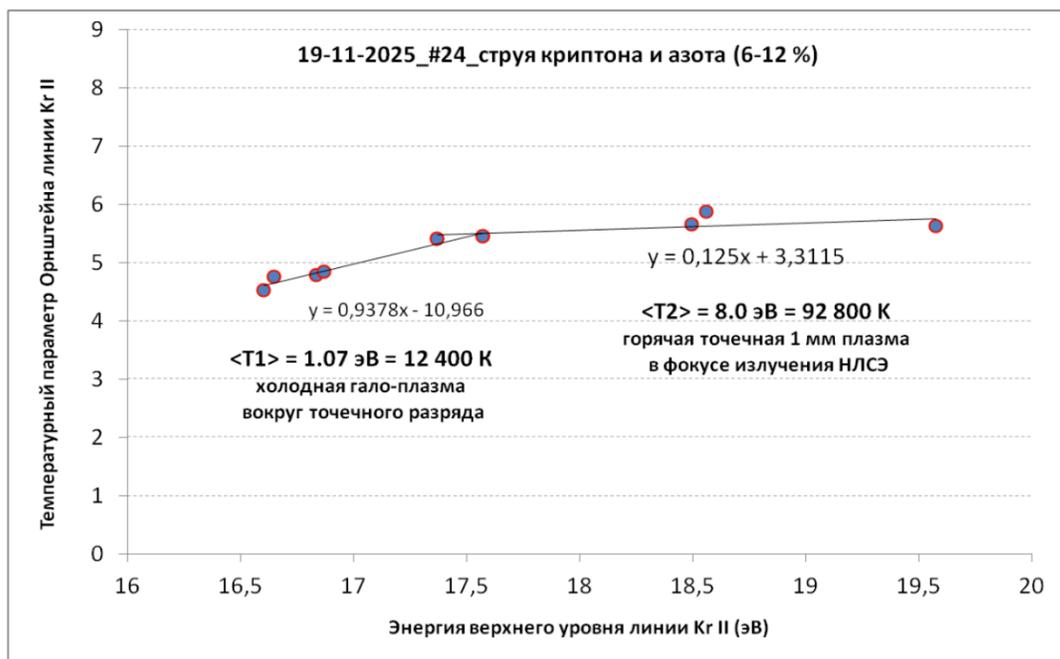


Рис.1. Фото высокотемпературного точечного терагерцевого лазерного разряда (слева) и диаграмма Орнштейна для определения температуры плазмы (справа).



Терагерцевая спектроскопия молекул в сильных магнитных полях

Мощное импульсное терагерцевое излучение НЛСЭ, сильное магнитное поле (до 7.2 Т) и использование новых методов спектроскопии, основанных на измерении не-Фарадеевского вращения поляризации излучения свободной индукции молекул позволяет измерять магнитные моменты высоковозбужденных состояний практически любых оптически активных молекул, в том числе короткоживущих (химических радикалов).

Получены новые фундаментальные данные о магнитных моментах молекул: существенная зависимость магнитного g -фактора молекулы HCN от вращательного квантового числа и сильное изменение g -фактора молекул с внутренними степенями свободы при энергии вращения выше внутреннего потенциала.



Рис.1. Сверхпроводящий соленоид на станции магнитной спектроскопии

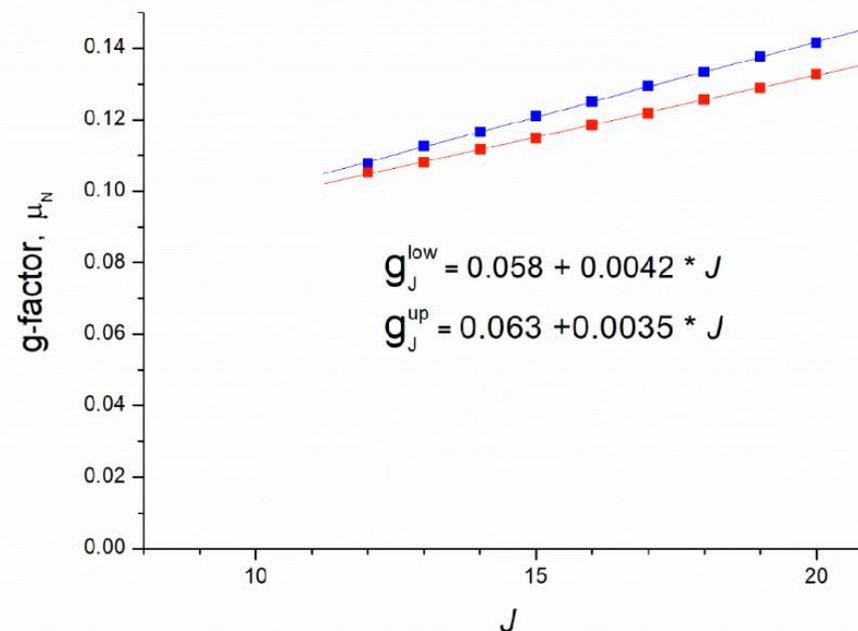


Рис.2. Зависимость g -фактора молекулы HCN от вращательного квантового числа

Планы на следующий год

1. Работа на пользователей, улучшение стабильности и надежности.
2. Улучшение конструкции и параметров 2-го ЛСЭ.
3. Улучшение диагностики и измерение параметров электронного пучка.
4. Постепенный переход на новые лампы в выходных каскадах ВЧ генераторов.



Спасибо за внимание!

