

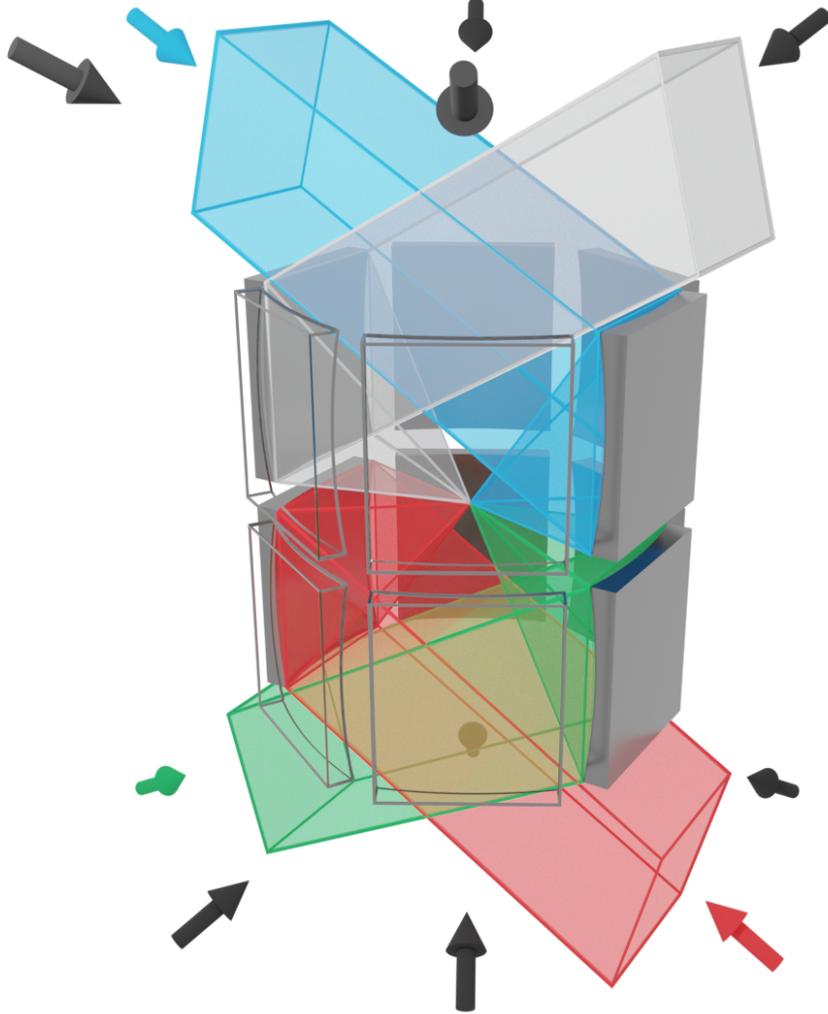
Четырехканальный прототип системы когерентного сложения ультракоротких лазерных импульсов в дипольной геометрии

К. Бурдонов, М. Золотавин, А. Сиднев, А. Коржиманов, Е. Блинов, А. Котов, И. Мухин, С. Перевалов, А. Пестов, М. Стародубцев, А. Шайкин, Е. Хазанов, А. Соловьев

Содержание

- Введение
- Реализация четырехпучкового прототипа системы сведения
 - Схема прототипа
 - Измерение интерференционных структур поля в фокусе при помощи субволнового оптического зонда
 - Описание субволнового зонда
 - Описание метода сканирования
 - Описание используемых систем стабилизации
 - Система стабилизации пучка на входе в систему сведения
 - Система стабилизации относительной фазы лазерных пучков
- Обсуждение результатов
- Заключение

Введение

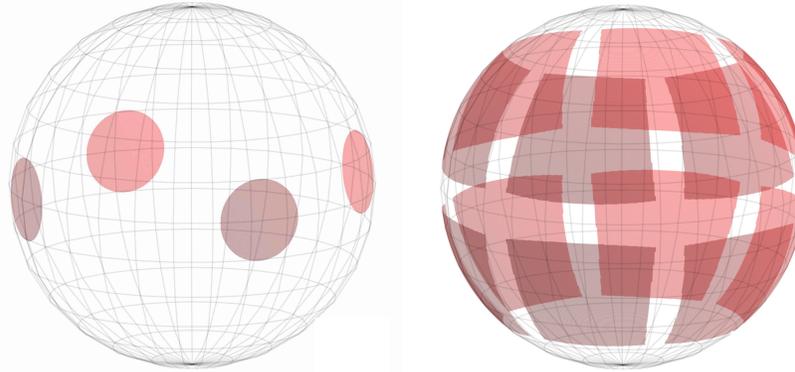


XCELS:

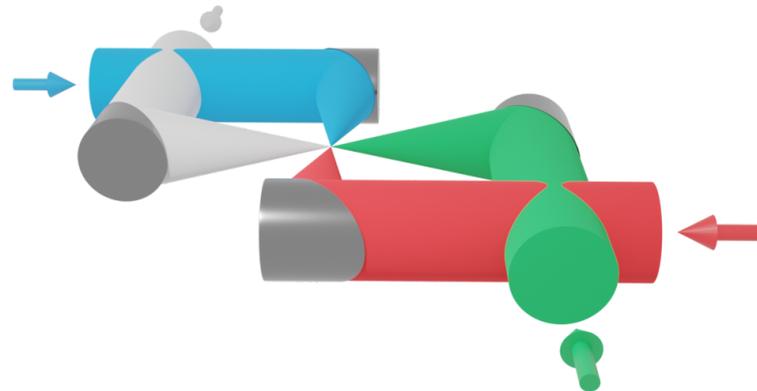
12 пучков, 600 мм x 600 мм,
600 пВт, 10^{-2} - 10^{-4} Гц

$$\frac{\Omega}{4\pi} = 5.35\% \\ \xi = 0.0770$$

$$\frac{\Omega}{4\pi} = 52.74\% \\ \xi = 0.5580$$

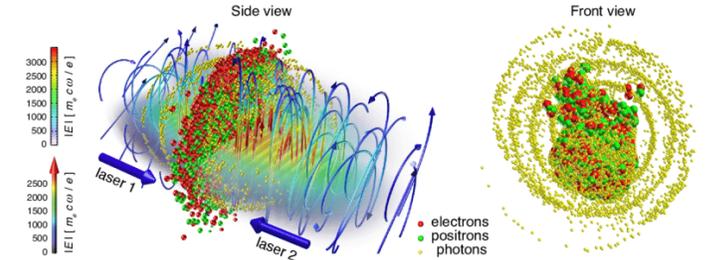
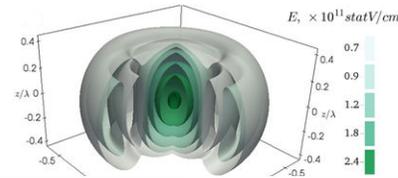


Дипольная фокусировка



Прототип:

4 пучка, D 50 мм,
100 кВт, 70 МГц



КЭД-каскады

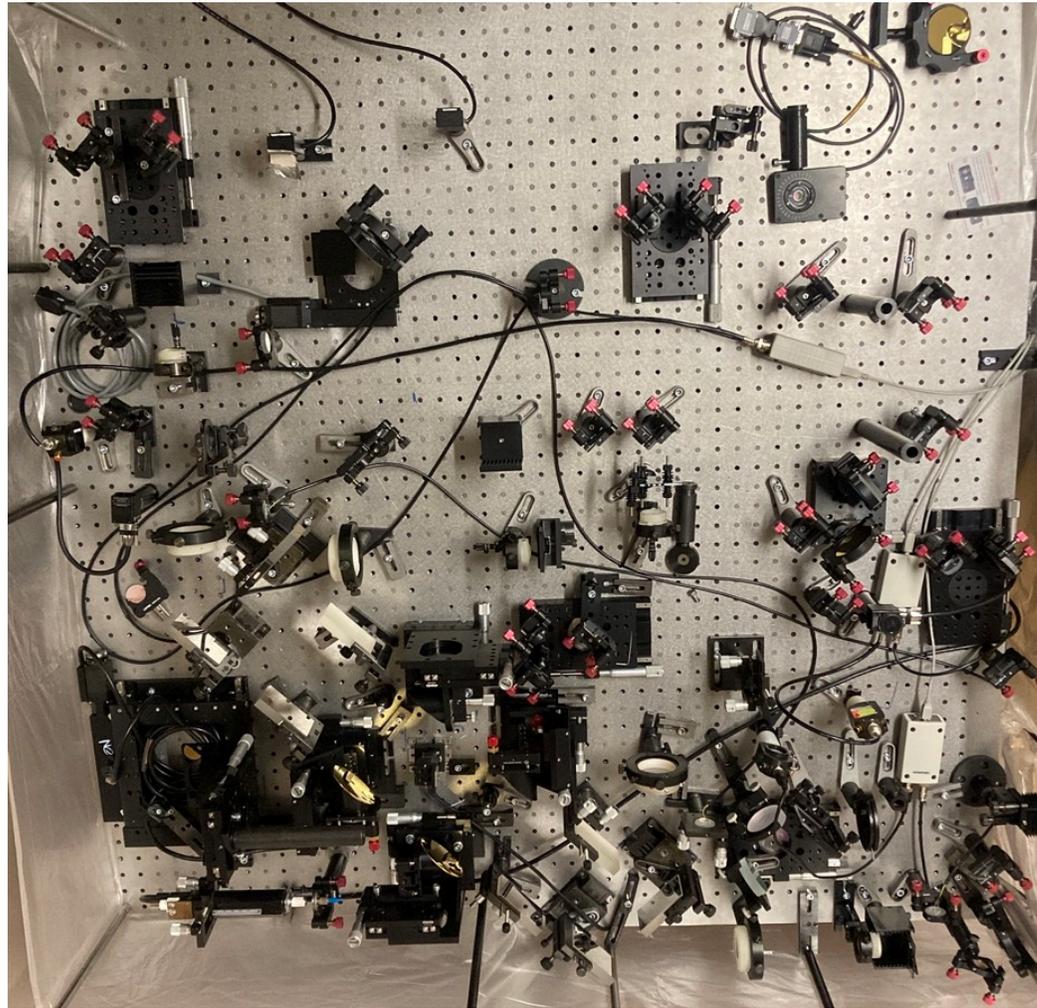
Научно-технические проблемы:

- Фокусировка, сведение и синхронизация каналов
- Стабилизация направления и относительной фазы
- Коррекция фазовых искажений

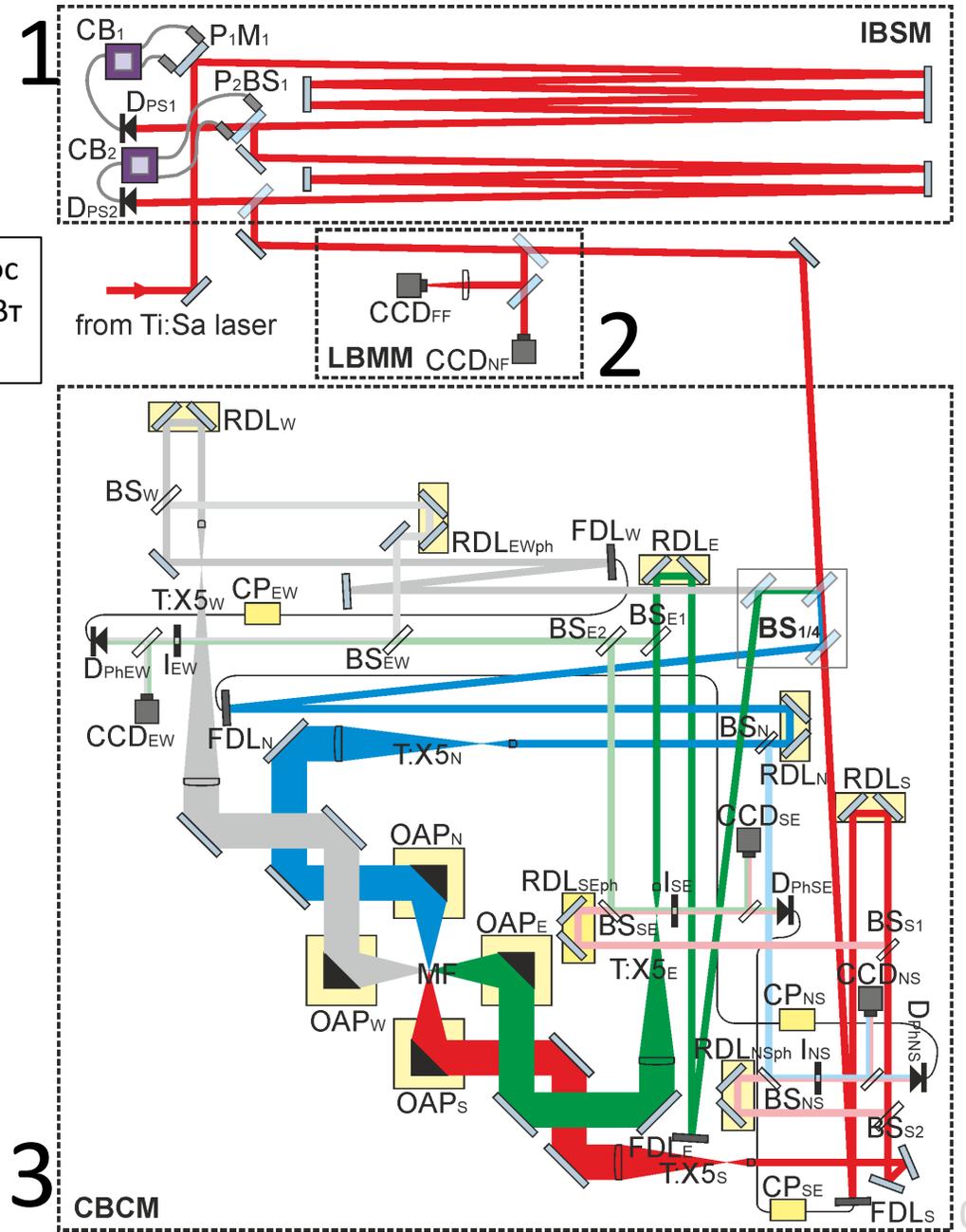
В нашей работе акцент сделан на многопучковую аппроксимацию дипольной волны и принципиальную сложность организации сигнала обратной связи для относительной стабилизации каналов стандартными методами. Измерения интерференционного поля в фокусе осуществлялось субволновым зондом собственной разработки.

Реализация четырехпучкового прототипа системы сведения

- Схема прототипа



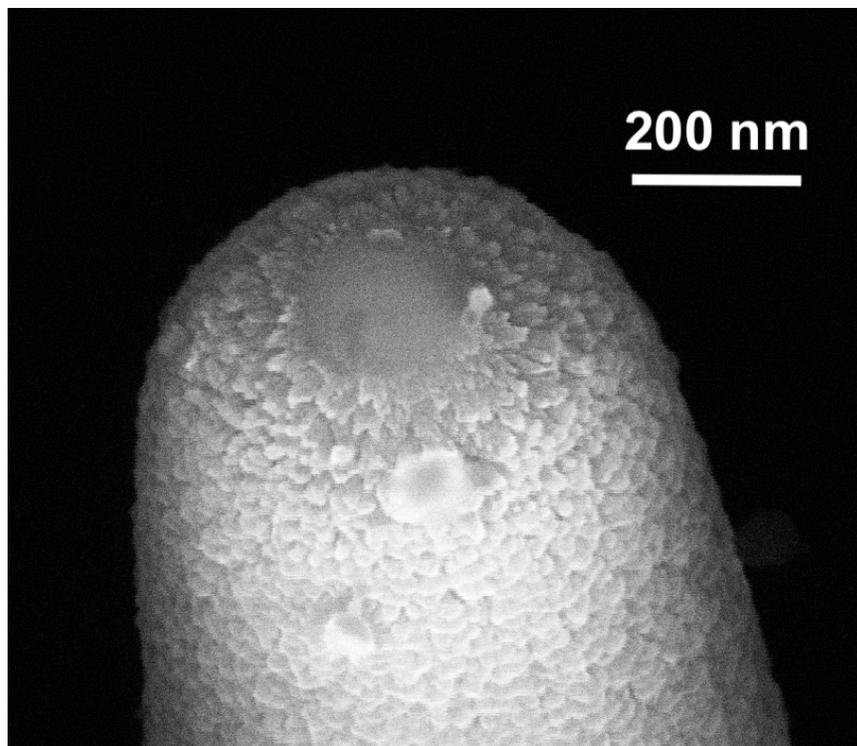
910 нм, 30 фс
70 МГц, 0.4 Вт
D 10 мм



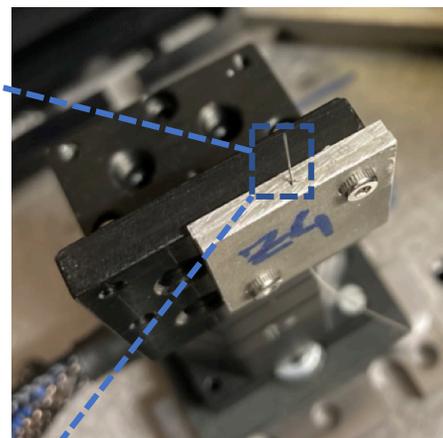
1. IBSM – модуль стабилизации пучка на входе в систему сведения
2. LBMM – модуль мониторинга излучения
3. CBCM – модуль сведения и когерентного сложения четырех пучков

Реализация четырехпучкового прототипа системы сведения

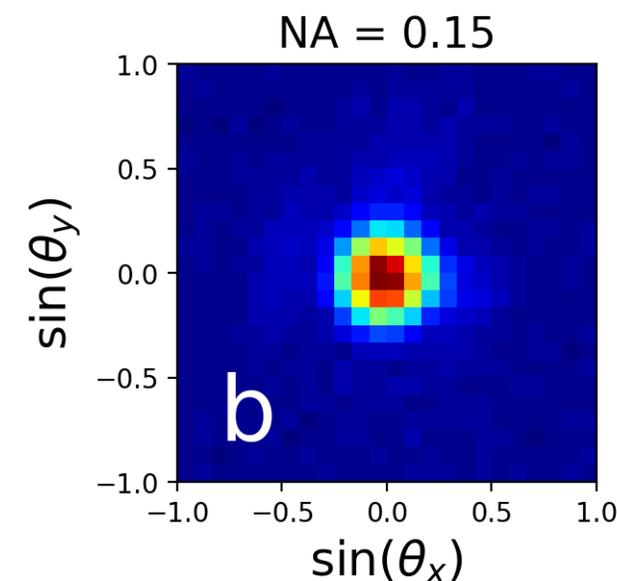
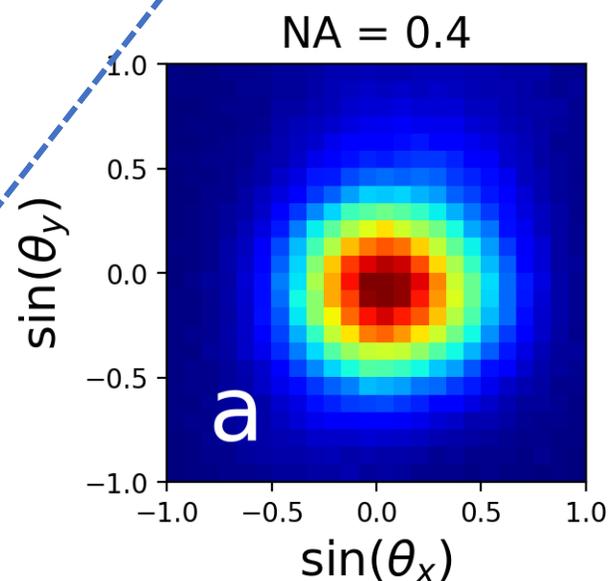
- Измерение распределения поля в фокусе при помощи зонда
 - Описание субволнового зонда



Изображение острия субволнового зонда, полученное с помощью электронного микроскопа



волоконный разъем FC/PC



При запитке зонда плоской бегущей линейно поляризованной волной, поляризационный состав излучения на выходе зависит от направления волнового вектора и поляризации этой волны.

Реализация четырехпучкового прототипа системы сведения

- Измерение распределения поля в фокусе при помощи зонда
 - Описание метода сканирования

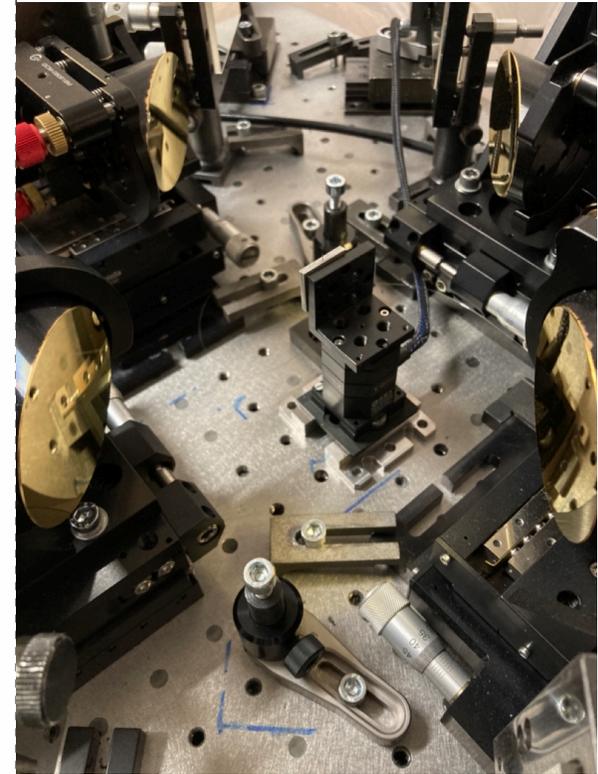
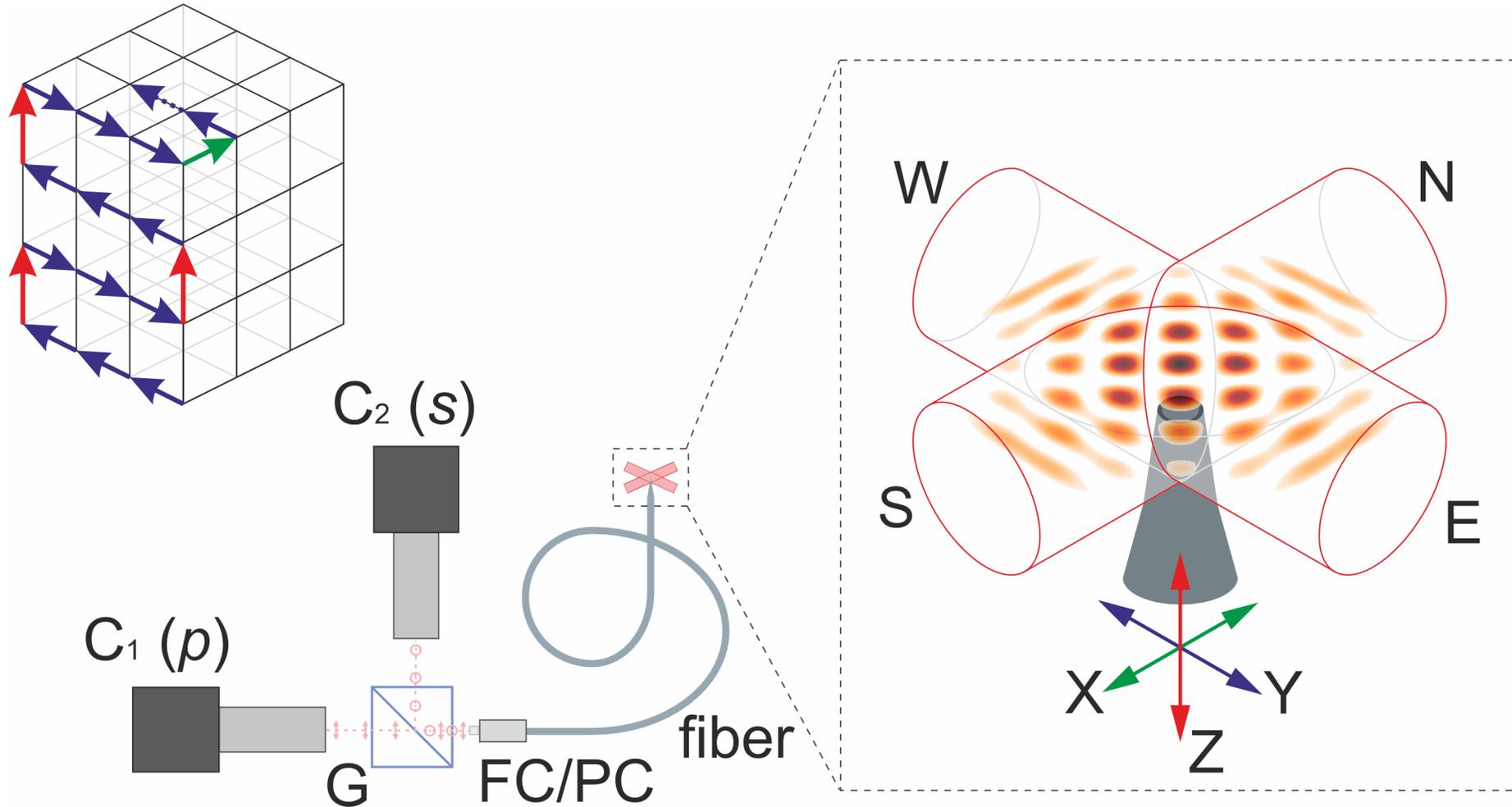
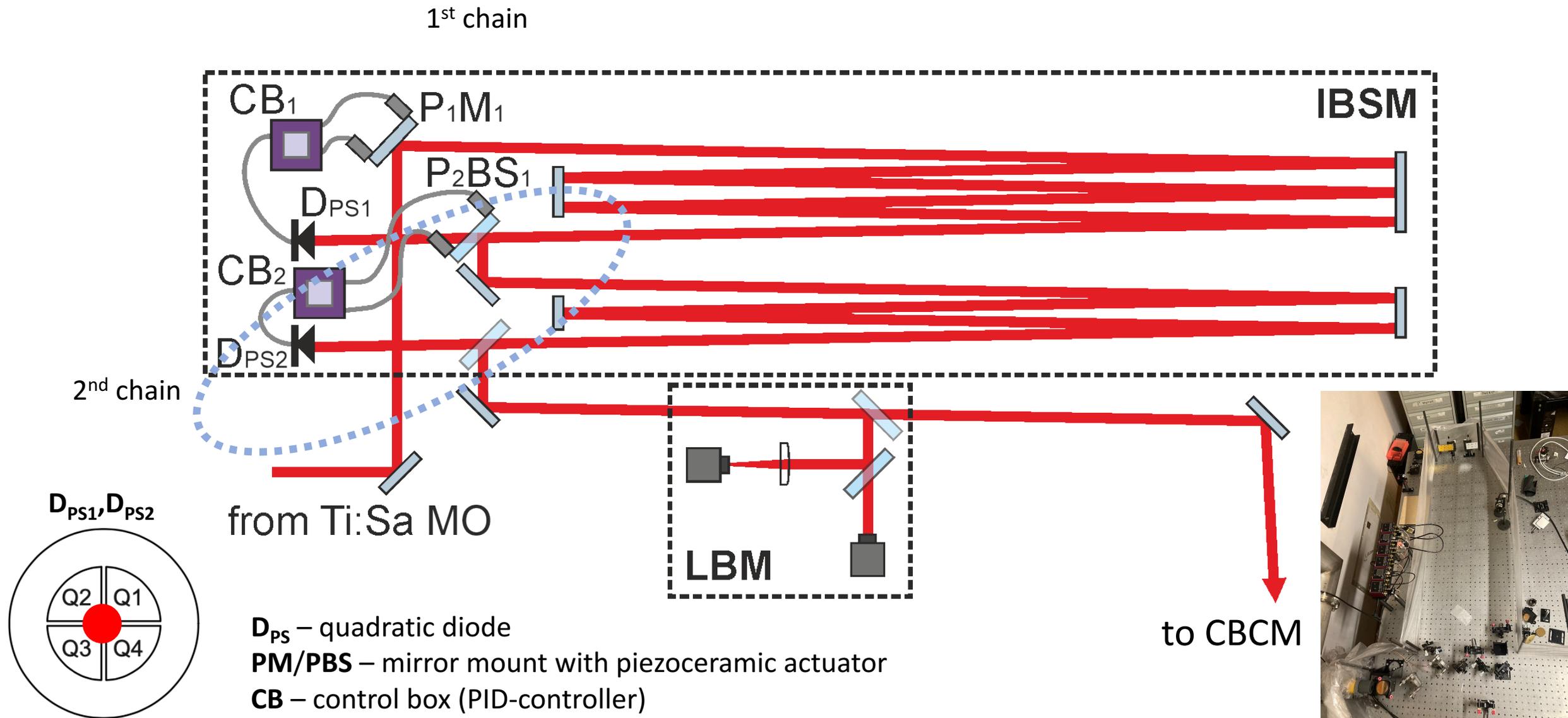


Иллюстрация принципа сканирования распределения
оптического поля в окрестностях фокуса

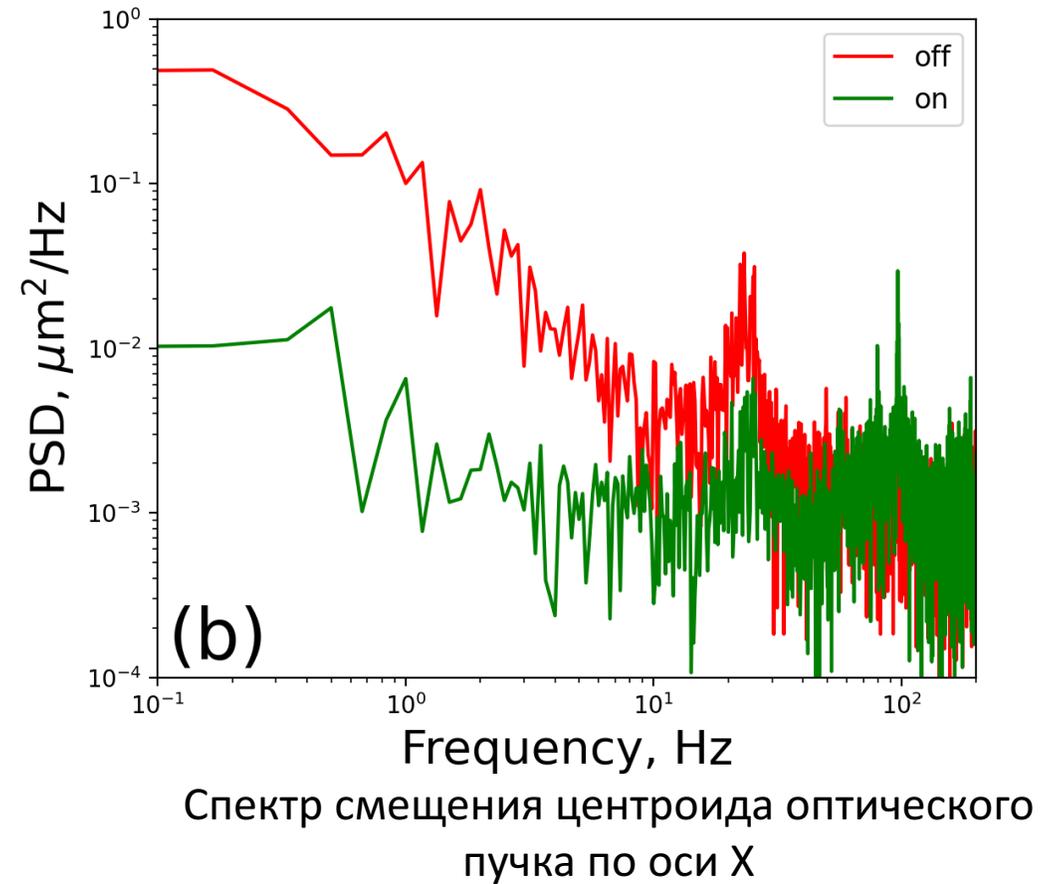
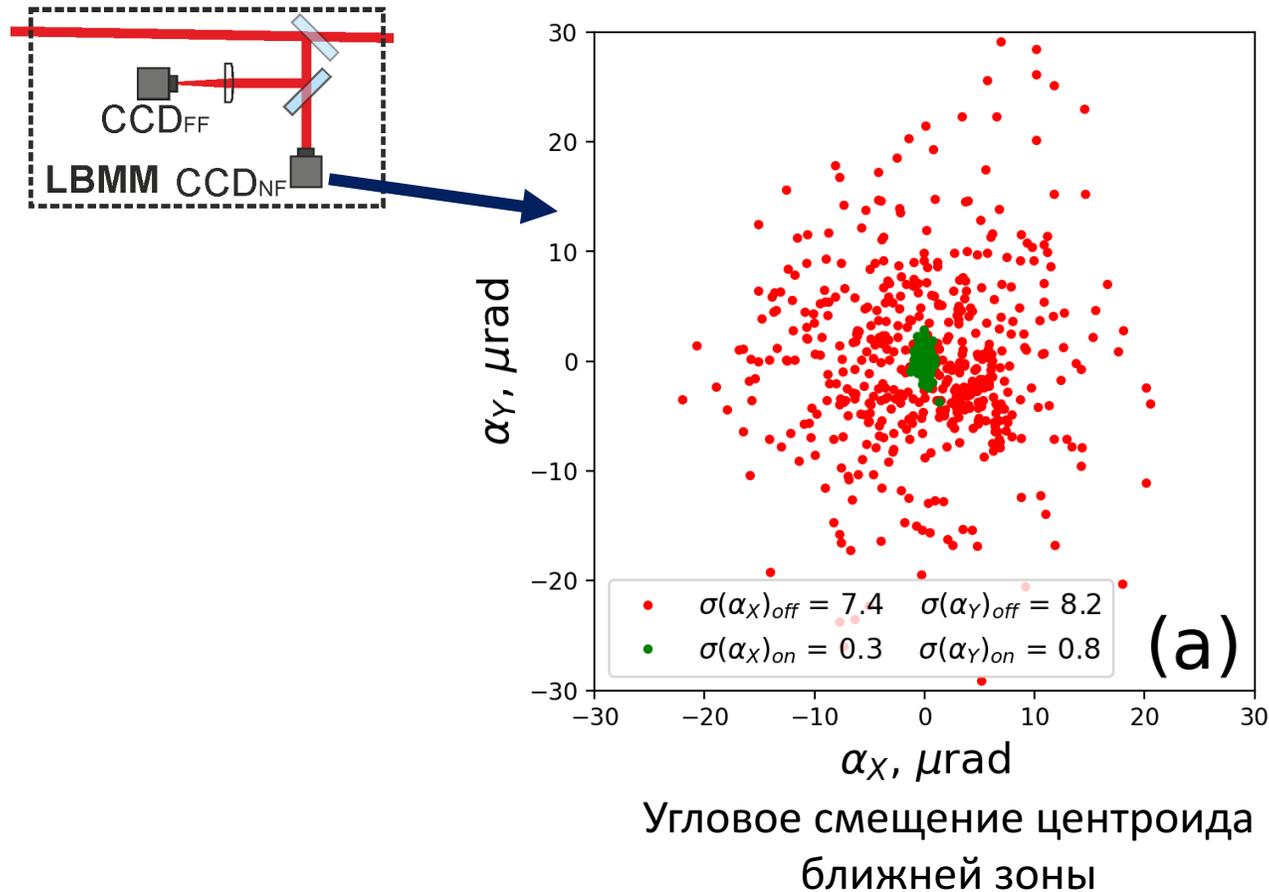
Реализация четырехпучкового прототипа системы сведения

- Описание используемых систем стабилизации
 - Система стабилизации пучка на входе в систему сведения



Реализация четырехпучковой прототипа системы сведения

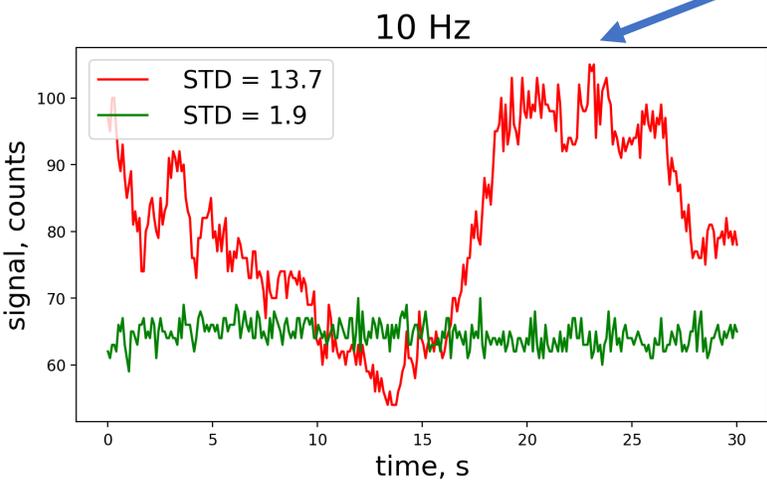
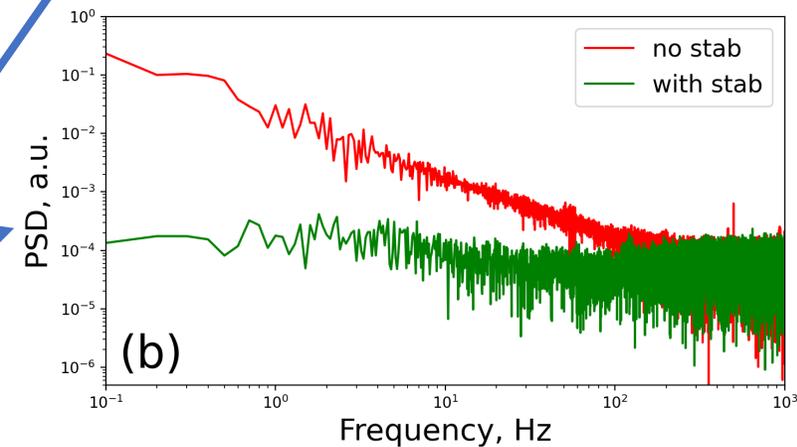
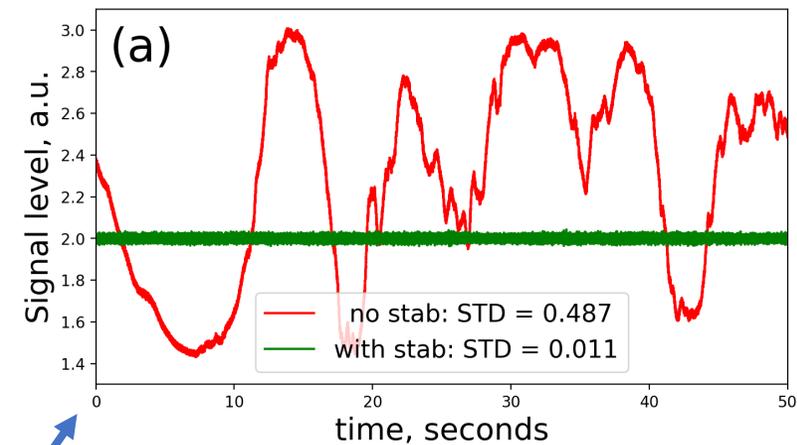
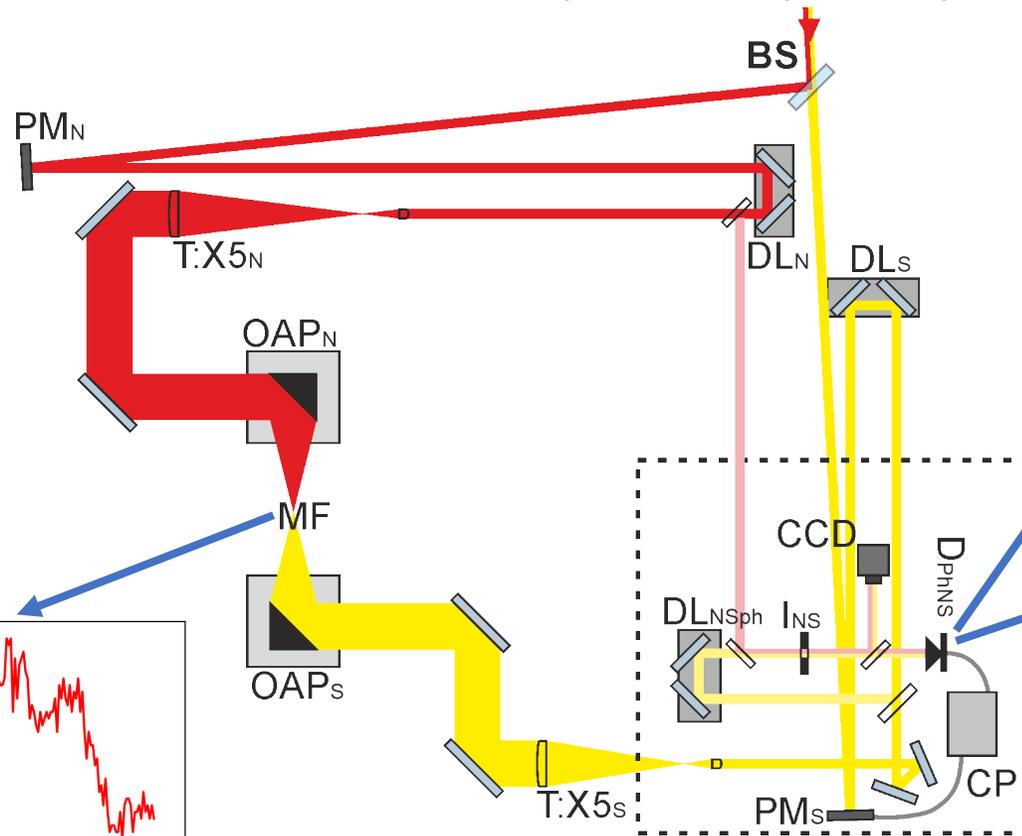
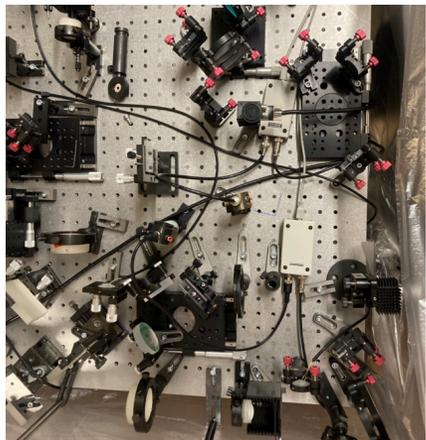
- Описание используемых систем стабилизации
 - Система стабилизации пучка на входе в систему сведения



Сам проект XCELS предполагает оснащение аналогичной системой стабилизации каждого из сводимых оптических каналов.

Реализация четырехпучковой прототипа системы сведения

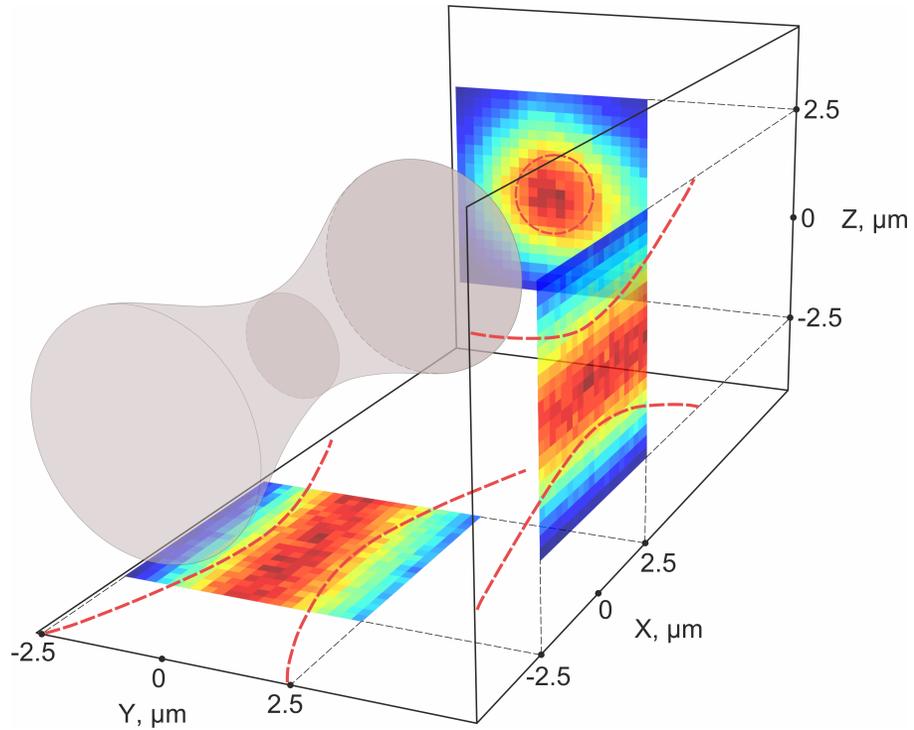
- Описание используемых систем стабилизации
 - Система стабилизации относительной фазы лазерных пучков



- Оптический сигнал регистрируется диодом D_{PhNs}
- Обратная связь осуществляется при помощи ПИД-контроллера CP
- В четырехпучковой схеме работают три модуля стабилизации фазы

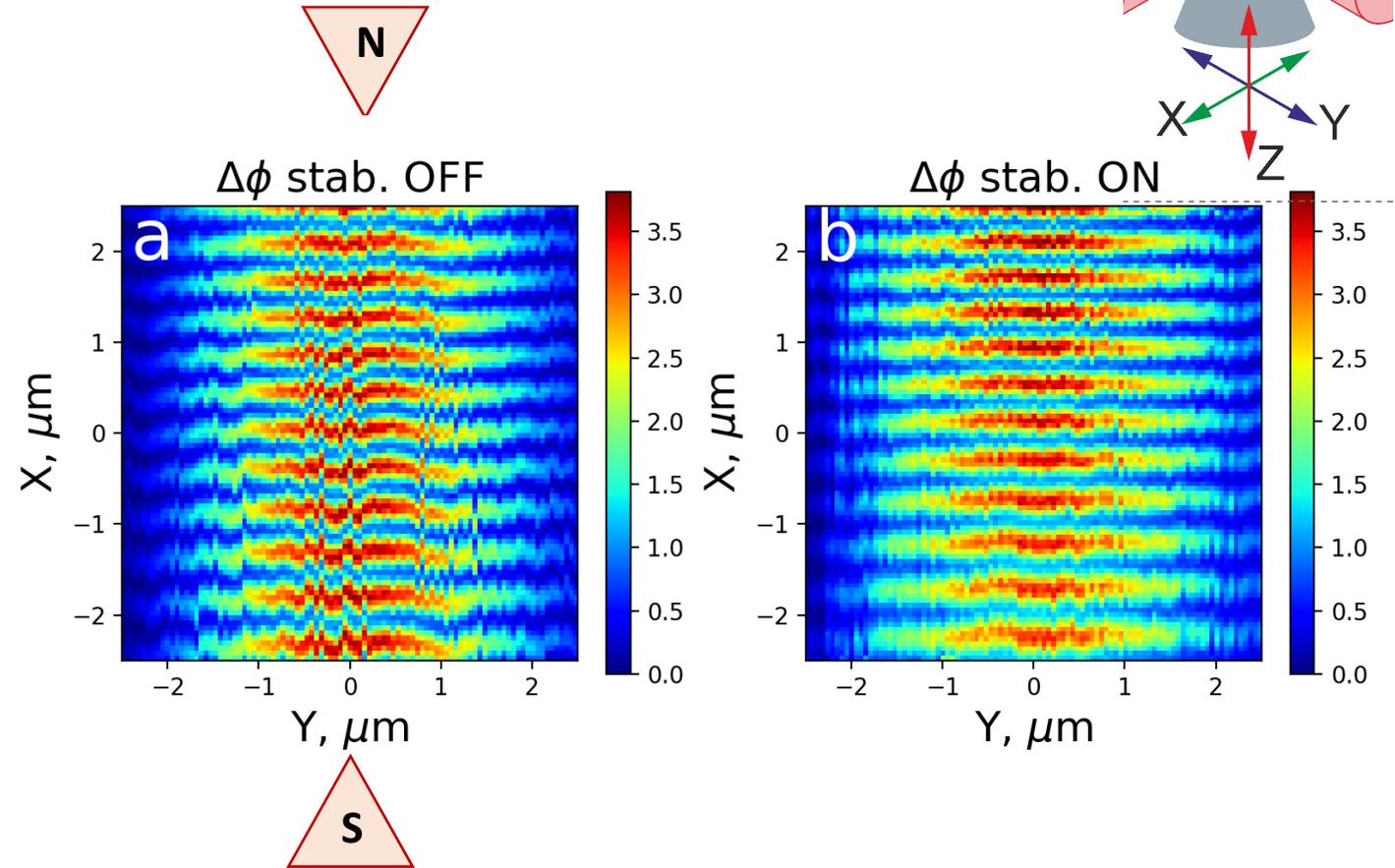
Невозможно устранить вариации относительной фазы в элементах схемы, расположенных после отщепления сигнала обратной связи. В схеме XCELS эти элементы предполагается независимо механически стабилизировать.

Обсуждение результатов



Схематичное изображение фокусирующегося пучка и проекции соответствующих сечений

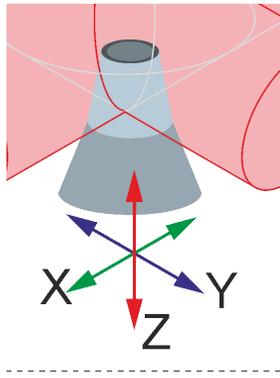
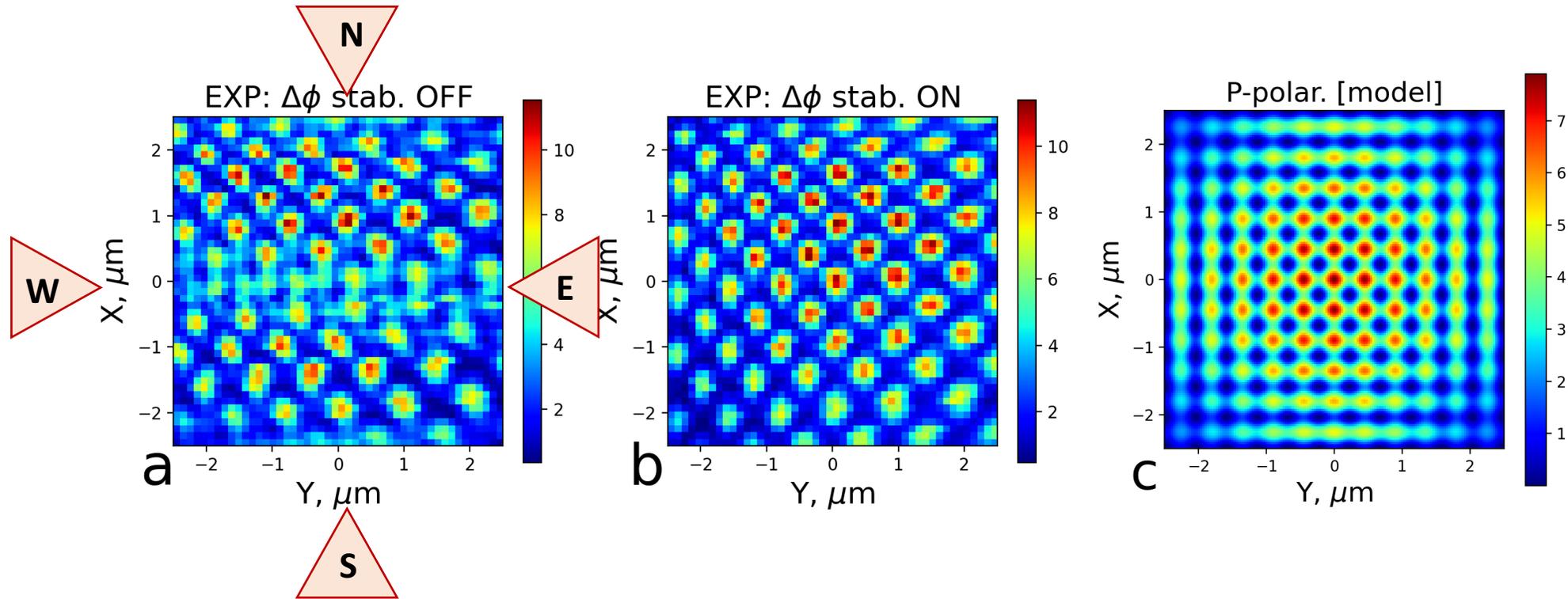
Уширение пучка относительно дифракционного размера обусловлено наличием aberrаций волнового фронта излучения.



Интерференционные структуры для двух встречных пучков N и S без стабилизации фазы (a) и со стабилизацией фазы (b)

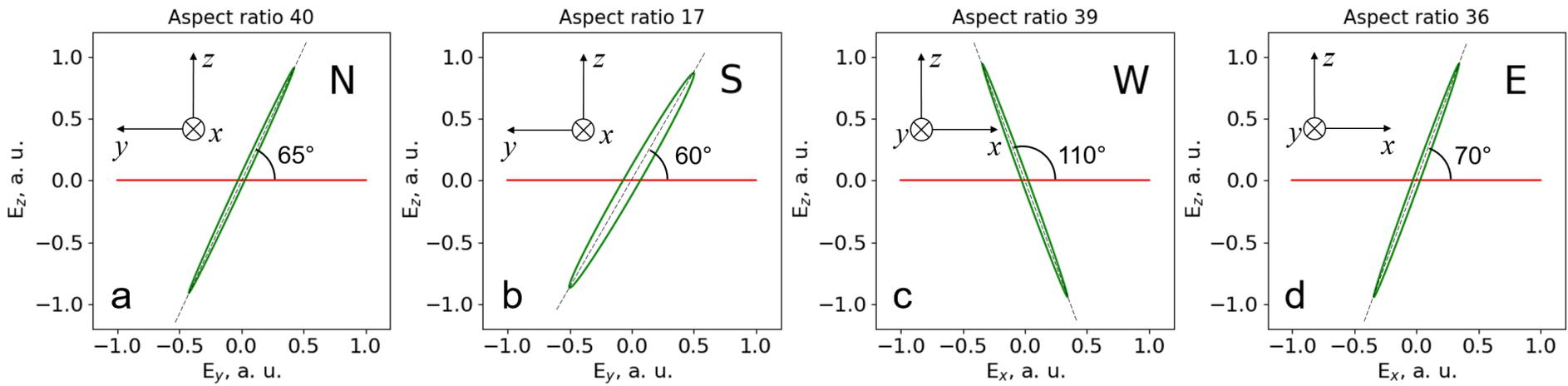
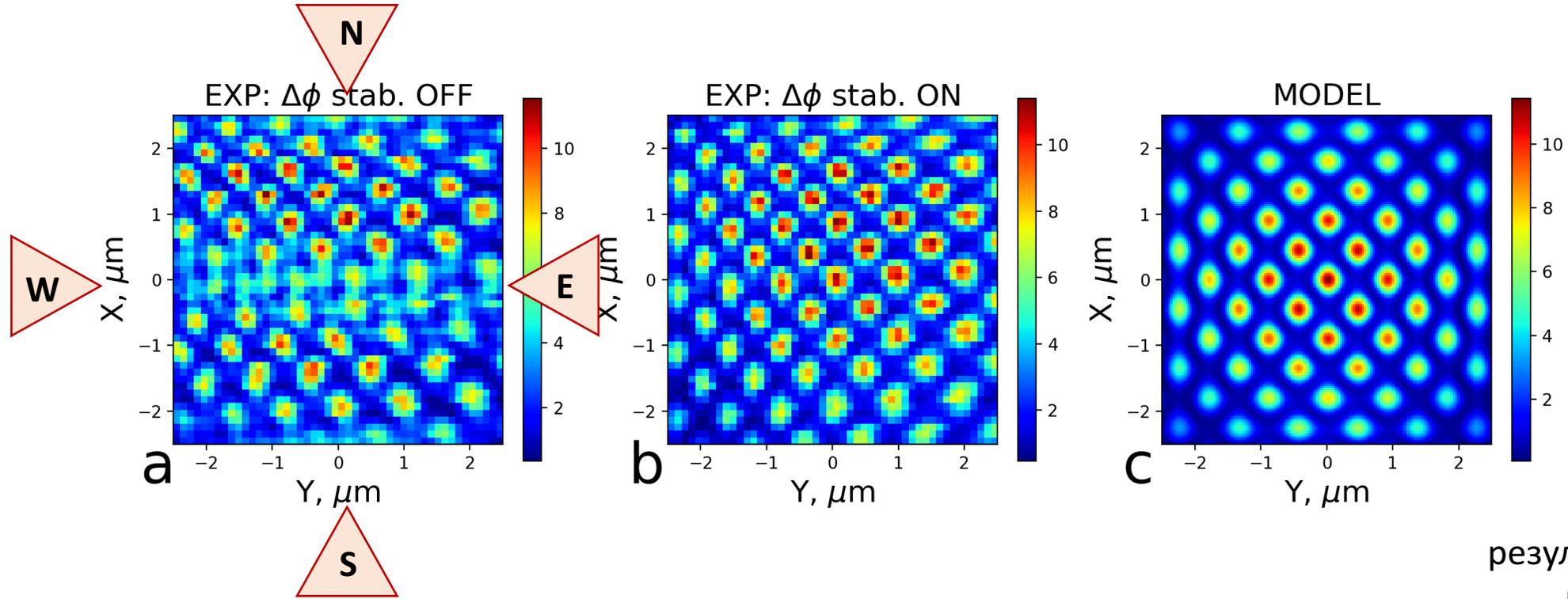
Эффект стабилизации фазы проявляется в упорядочивании формы интерференционных полос.

Обсуждение результатов



Интерференционные структуры для четырех встречных пучков N, S, E и W в плоскости XY: экспериментально измеренные с помощью субволнового зонда без стабилизации фазы (a) и со стабилизацией фазы (b), результат численного расчета для горизонтально поляризованного излучения (c).

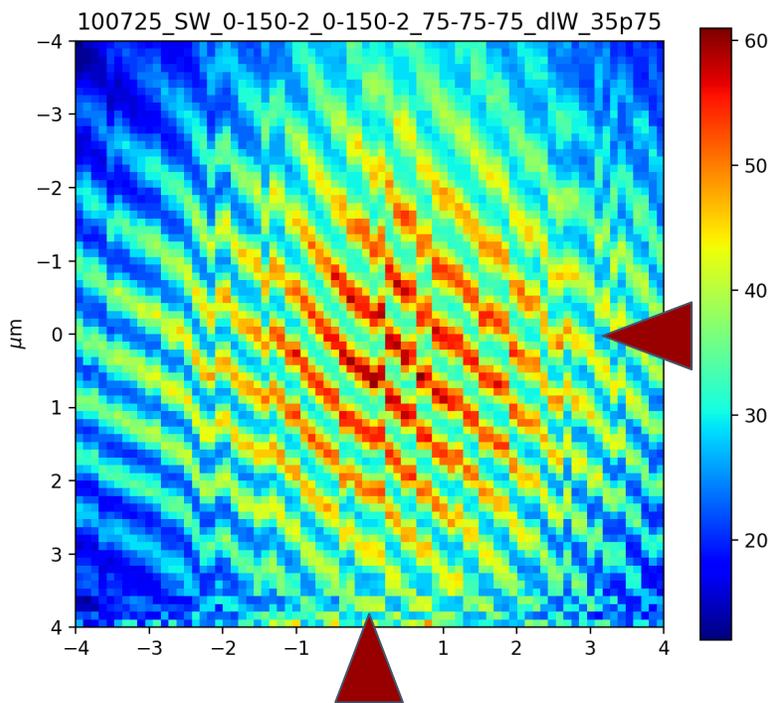
Обсуждение результатов



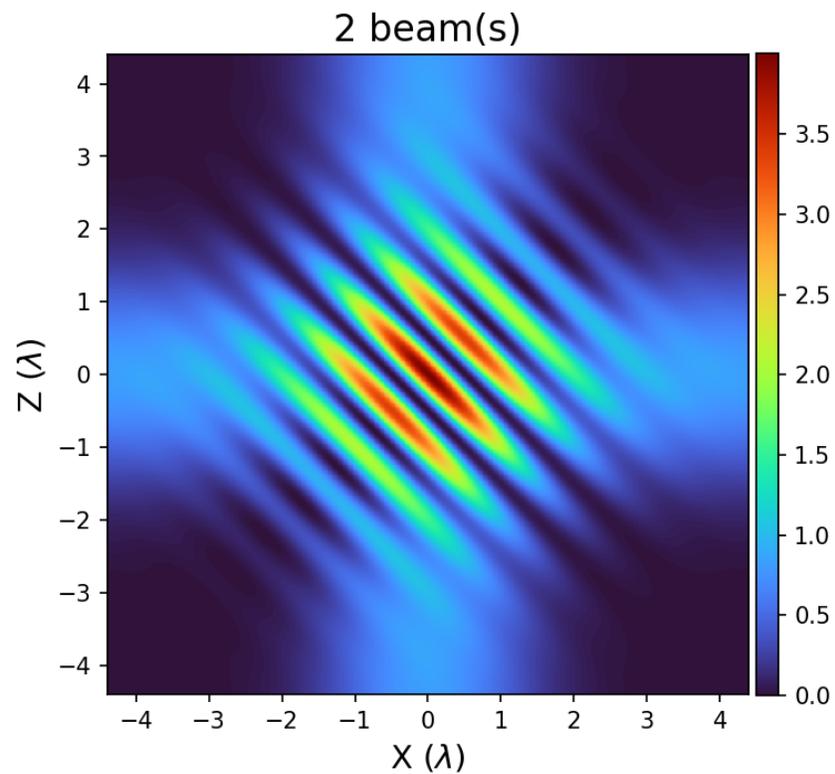
результат численного
 расчета с учетом
 экспериментальной
 диаграммы
 направленности и
 поляризационной
 чувствительности
 зонда (c).

Заключение

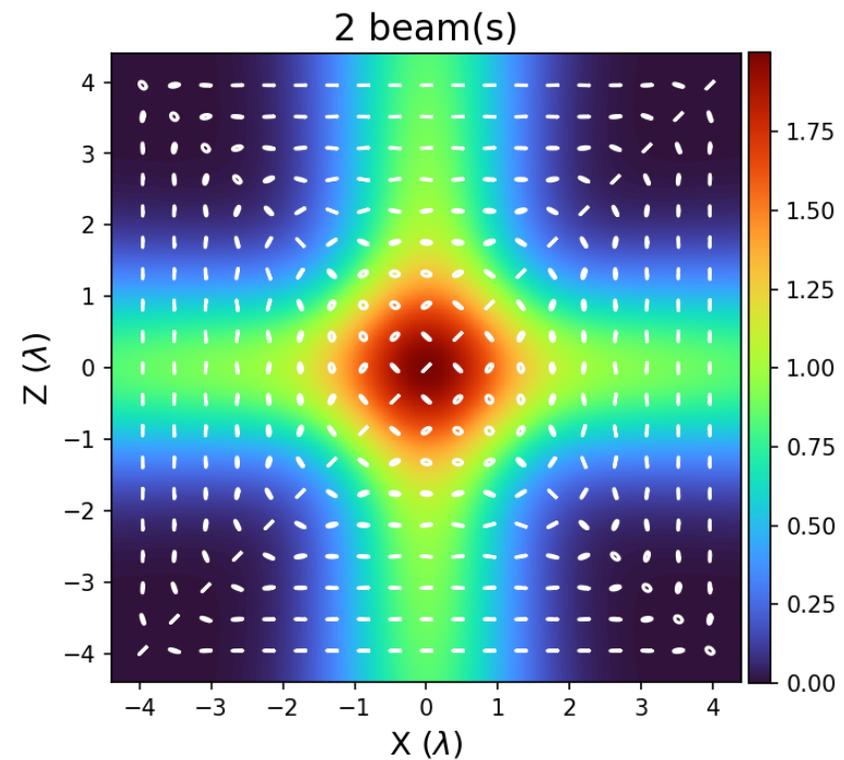
- Разработан четырехпучковый прототип системы дипольной фокусировки импульсного фемтосекундного излучения в интересах проекта XCELS.
- Прототип содержит: систему угловой и пространственной стабилизации входящего излучения; систему разбиения излучения на четыре независимых канала, оборудованных подсистемами стабилизации относительной фазы и фокусирующей системой, сводящей излучения в общую точку фокуса с четырех различных направлений.
- Каждый из каналов фокусировался с числовой апертурой $F/2$, что в сумме обеспечивает квадрат амплитуды электрического поля, составляющий $\xi \approx 0.077$.
- Интерференционная структура поля в области фокуса измерена при помощи оригинальной методики на основании сканирования субволновым волоконным зондом.
- Предложенная методика демонстрирует субволновую разрешающую способность и четко визуализирует стоячие конфигурации оптического поля.
- Показано, что отключение систем стабилизации приводит к искривлению измеренной интерференционной картины, а в отдельных случаях к снижению ее контраста. Таким образом подтверждается эффективность работы систем стабилизации.



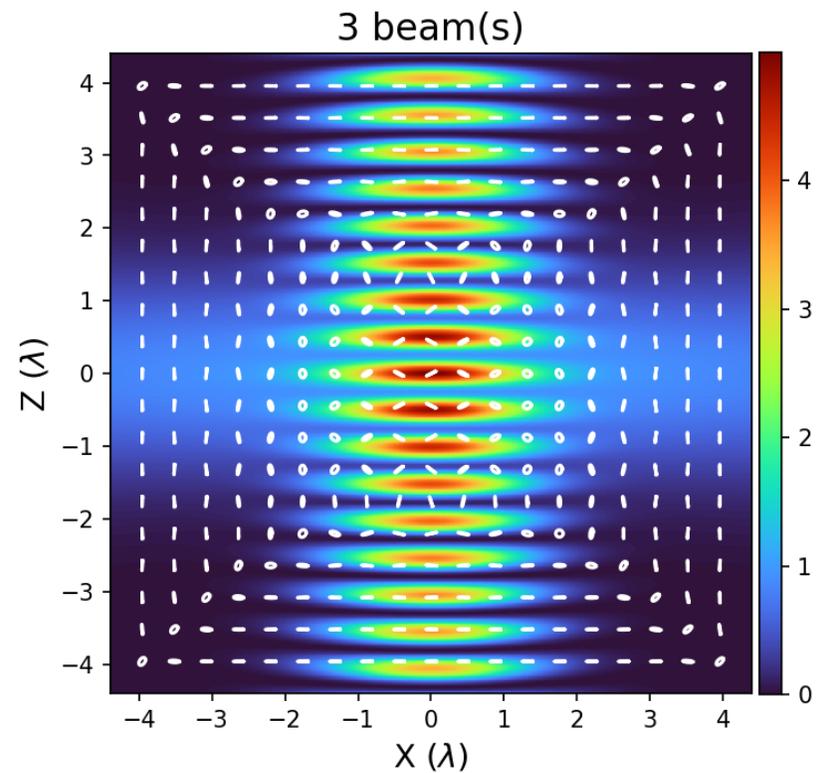
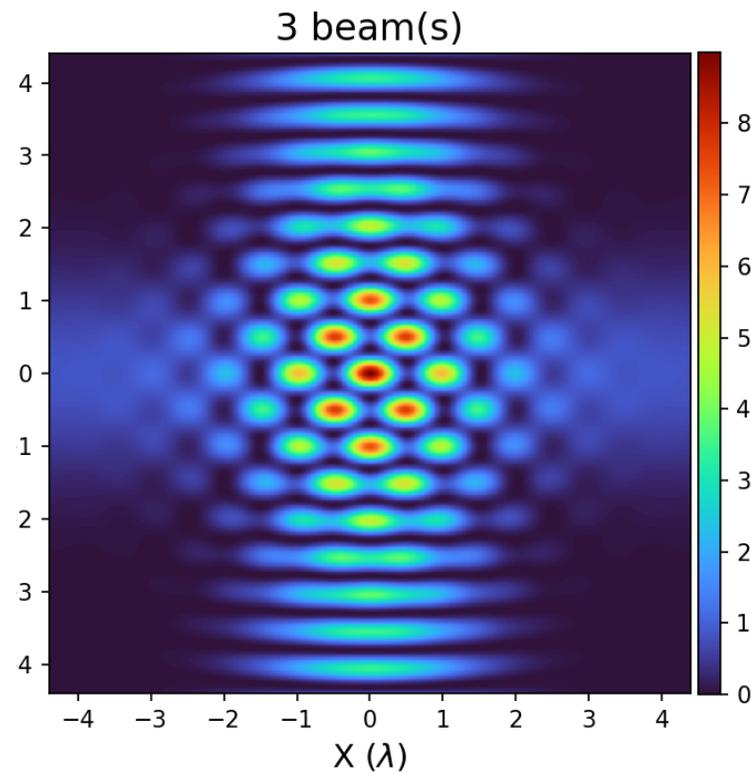
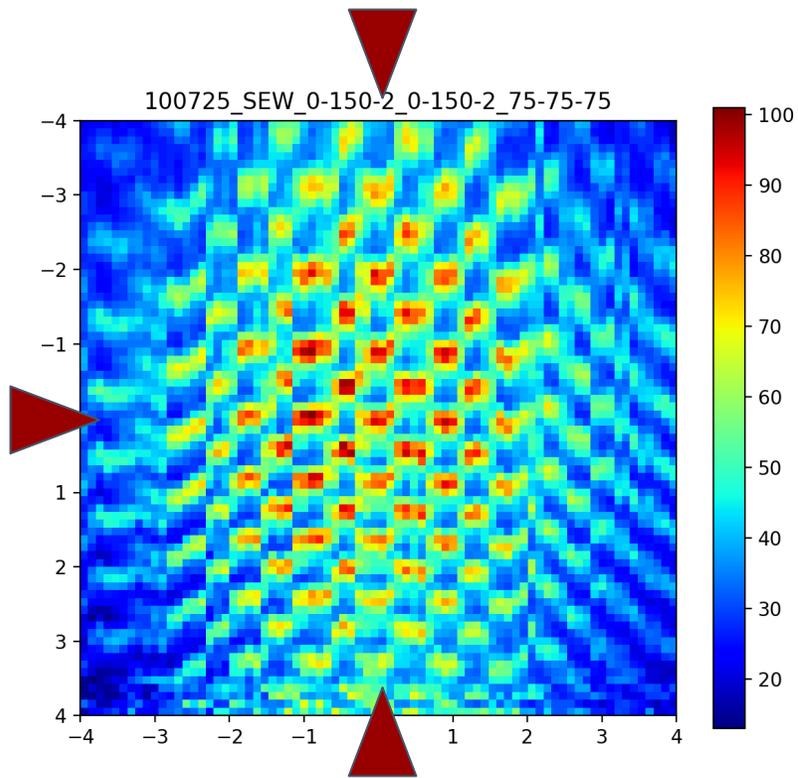
горизонтальная
поляризация
эксперимент

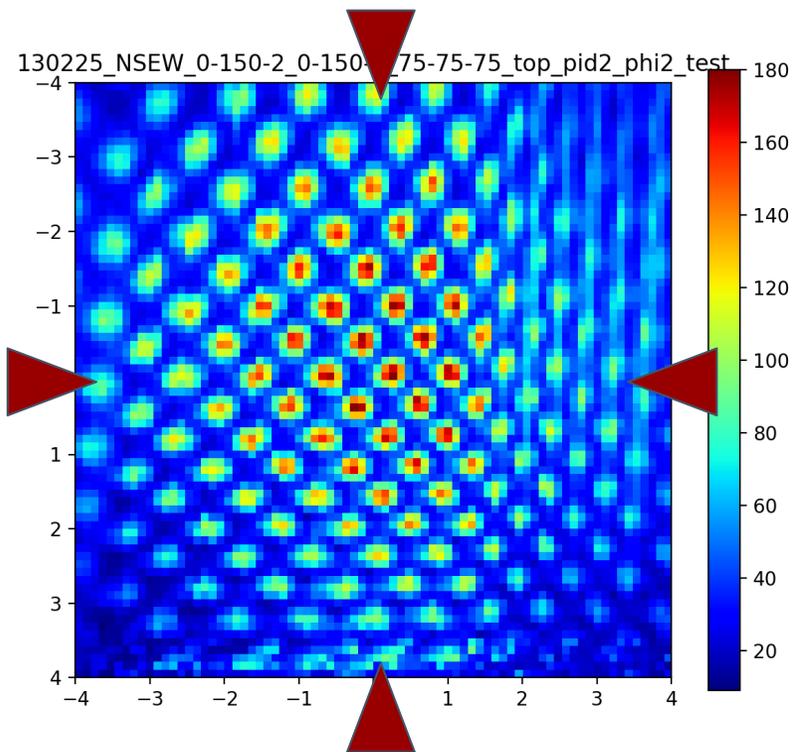


вертикальная
поляризация

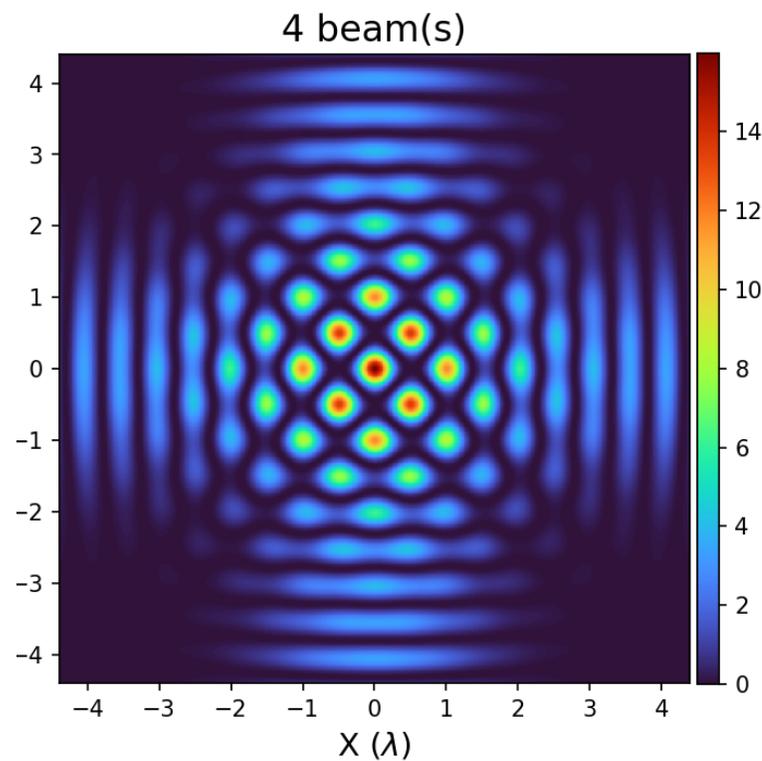


горизонтальная
поляризация

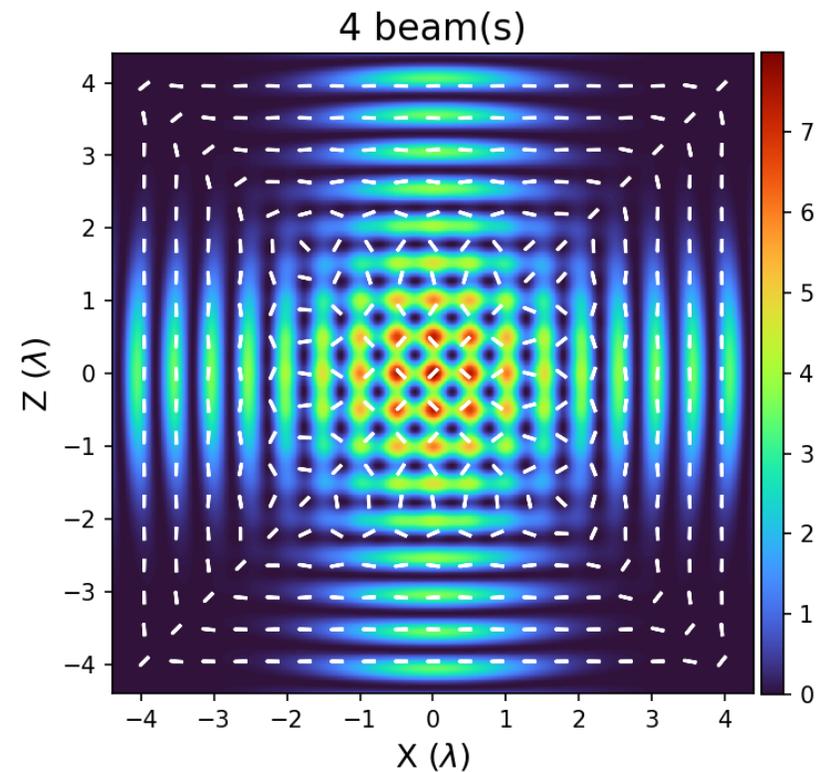




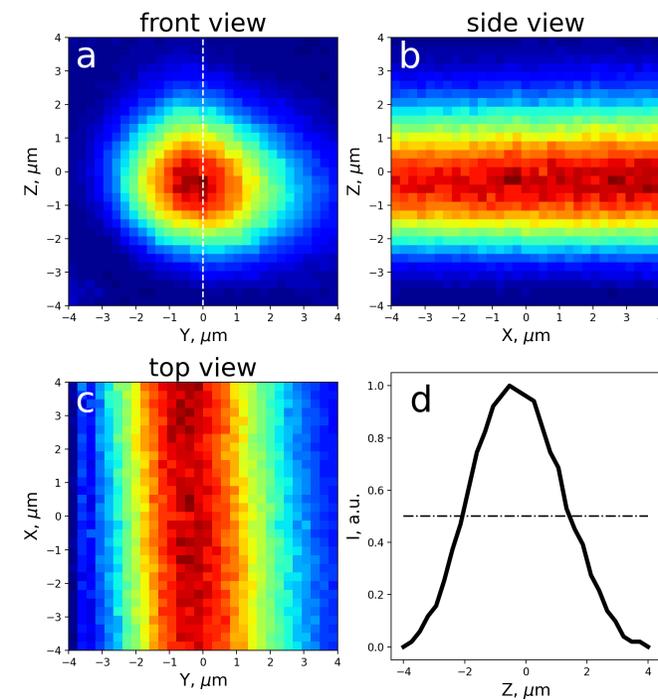
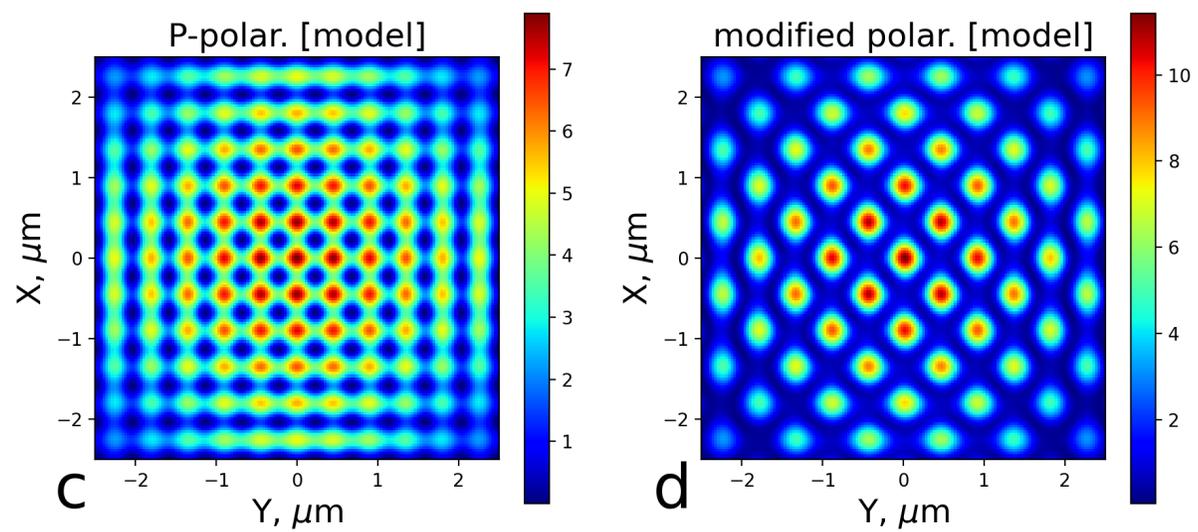
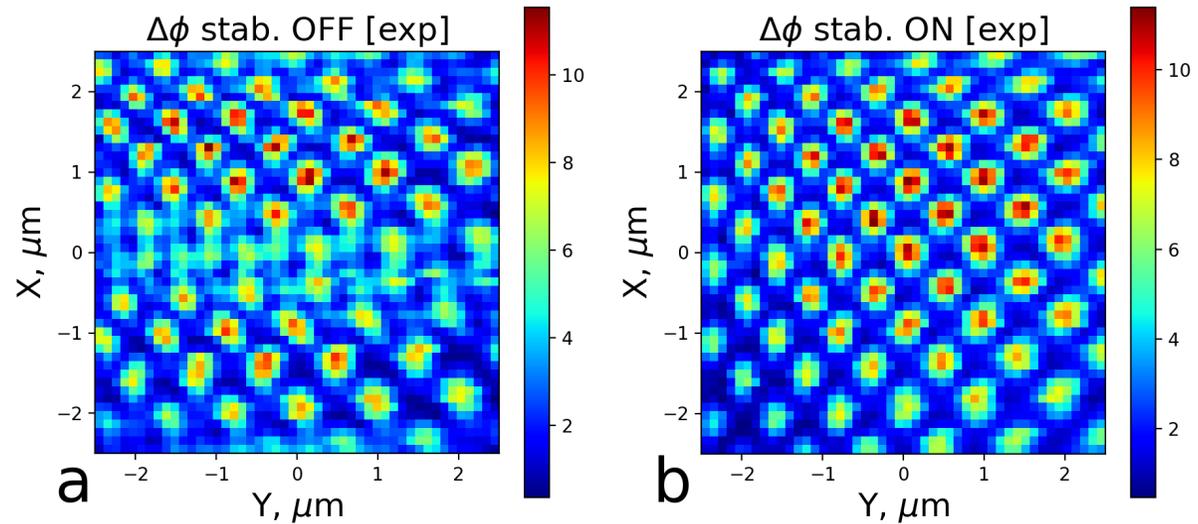
горизонтальная
поляризация
эксперимент



вертикальная
поляризация



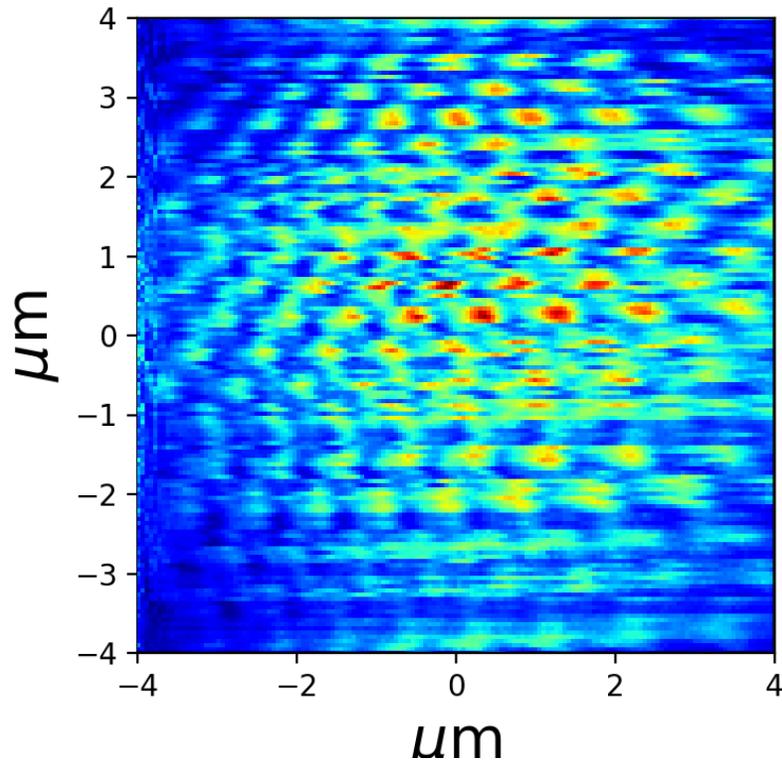
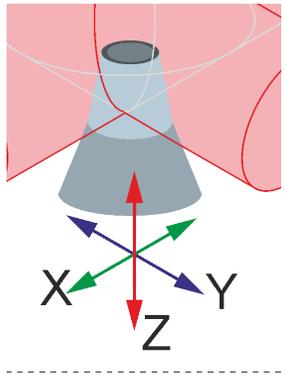
горизонтальная
поляризация



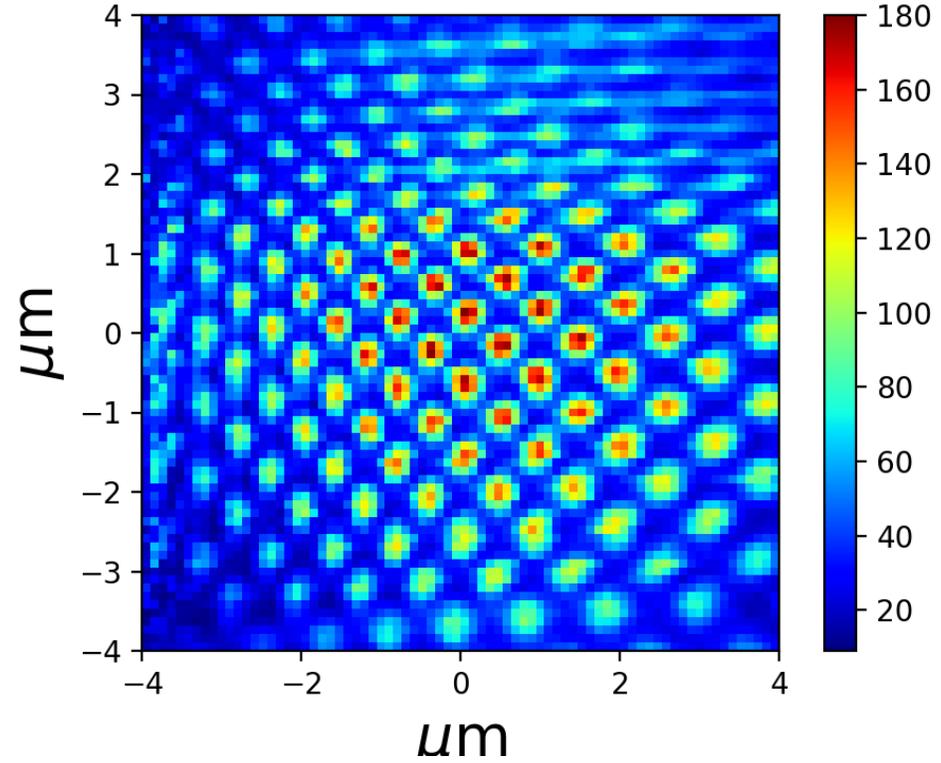
Sub-wavelength scanning of the main focus

2D scanning example vs calculation

Four beam coherent combining in the main focus



Stabilization OFF

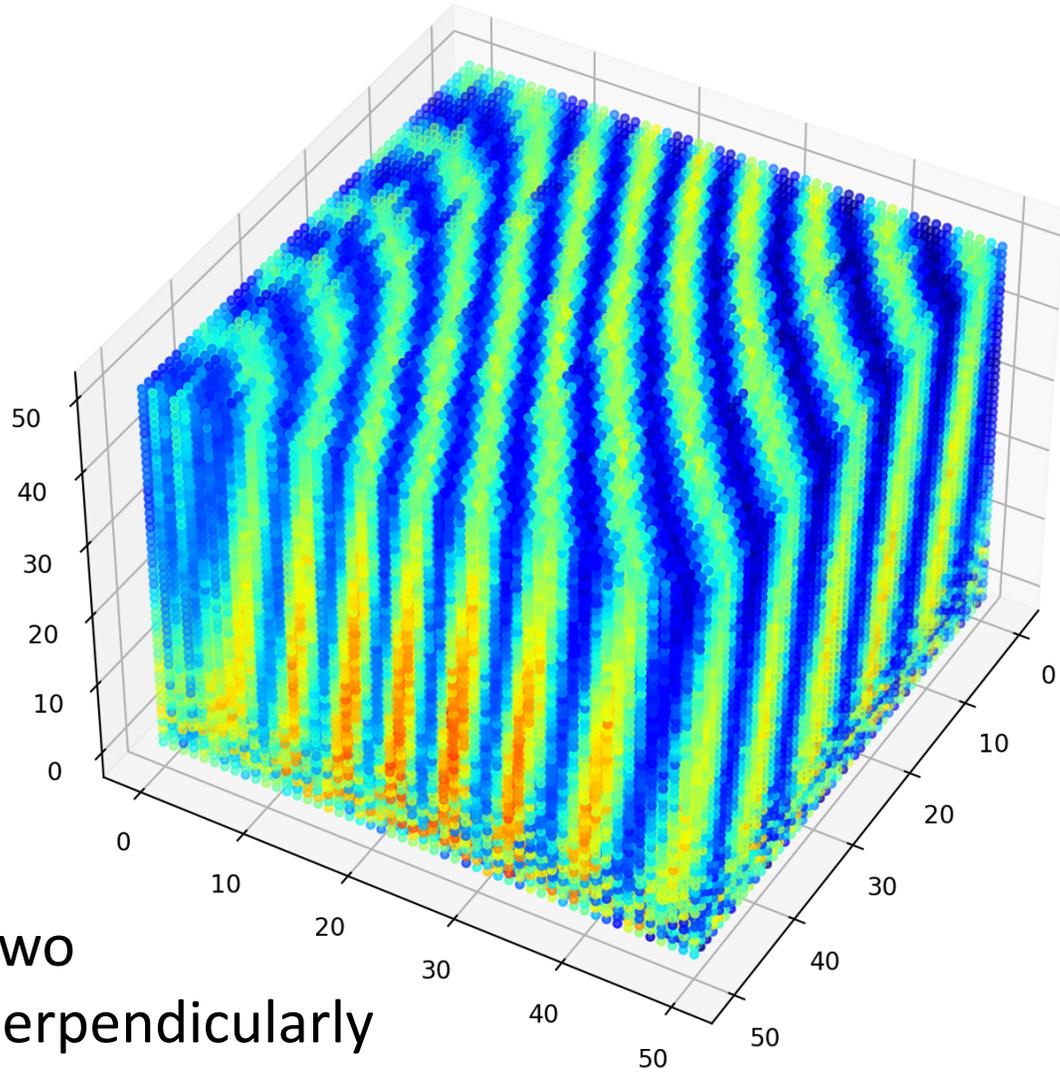


Stabilization ON

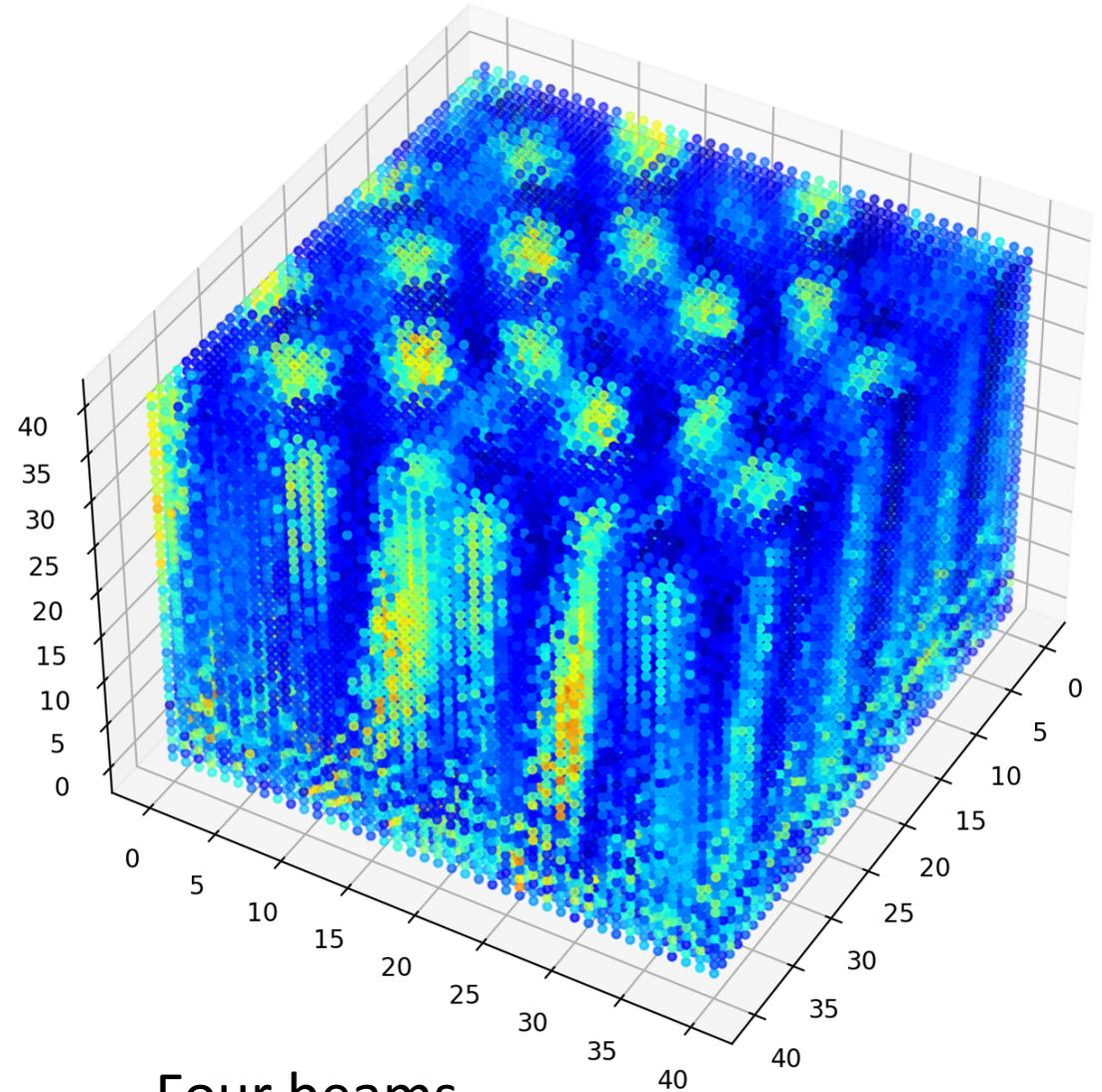
XY-plane scanning

Sub-wavelength scanning of the main focus

3D scanning examples



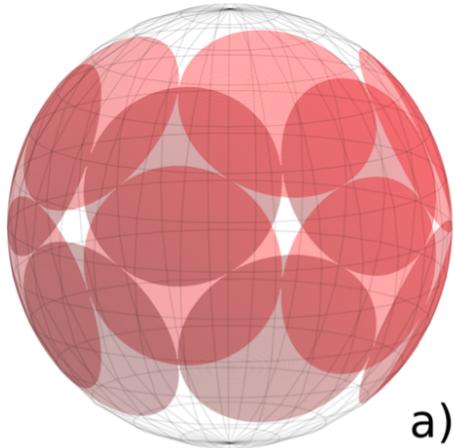
Two
perpendicularly
converging beams



Four beams

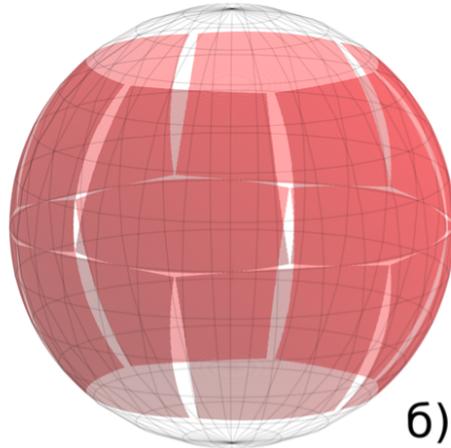
Introduction: XCELS project (eXawatt Center for Extreme Light Studies)

$$\frac{\Omega}{4\pi} = 67.07\%$$
$$\xi = 0.7735$$



a)

$$\frac{\Omega}{4\pi} = 70.80\%$$
$$\xi = 0.8091$$



b)

Sub-EW projects worldwide:

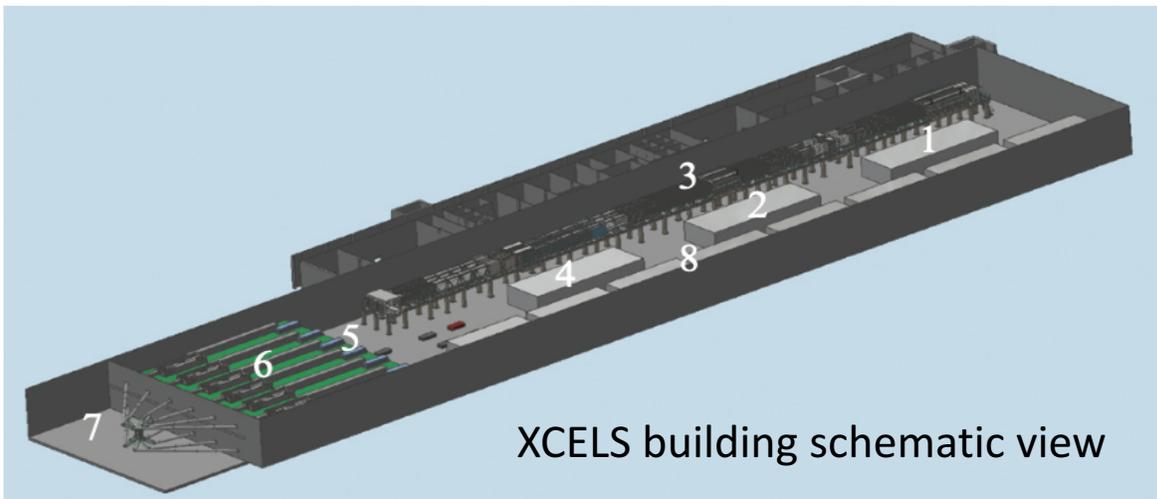
- **XCELS (Russia) – 12 beams x 50 PW**
- SEL-100PW (China) – 1 beam x 100 PW
- EP-OPAL (USA) – 2 beams x 20 PW
- Gekko-EXA (Japan) – 1 beam x 100 PW

XCELS:

- 1 beam – $4.4e24$ W/cm²
- **12 beams – $3.2e26$ W/cm²**
- Dipole focusing
- Sub-wavelength phase-matching

Experimental tasks:

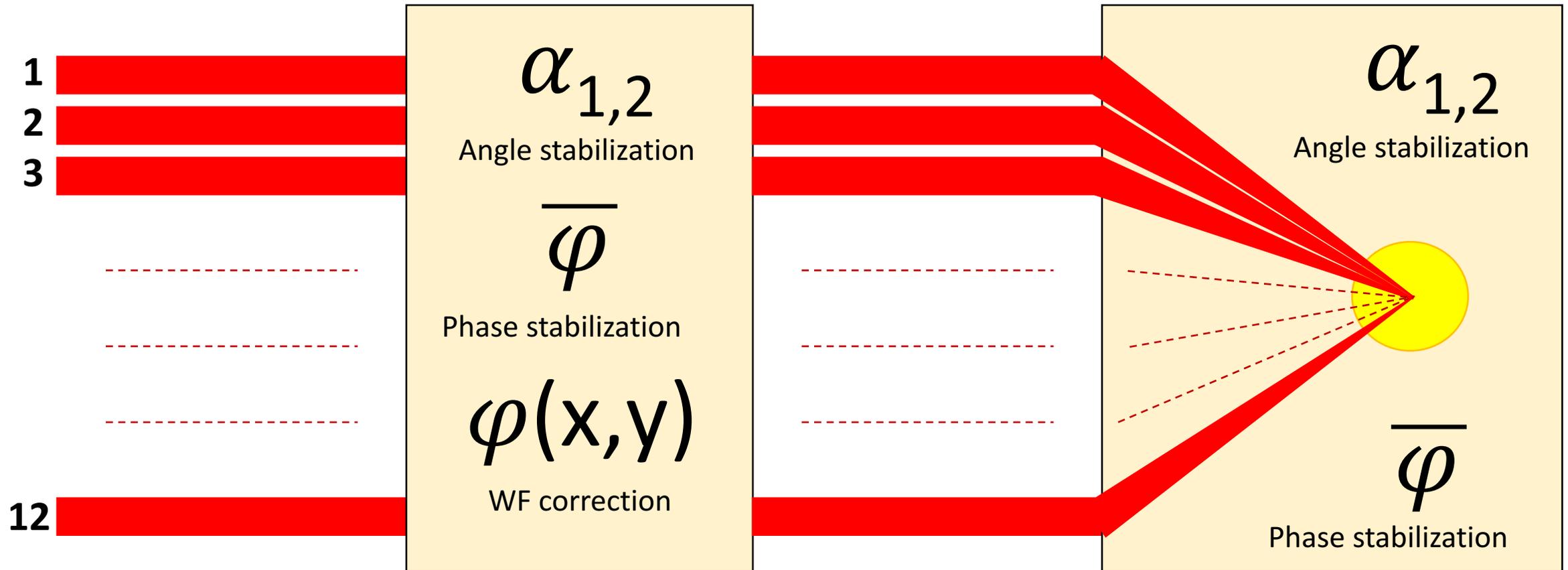
- QED processes in a strong laser field
- Particle generation and acceleration
- Generation of electromagnetic radiation
- Laboratory astrophysics



XCELS building schematic view

Introduction: XCELS project (eXawatt Center for Extreme Light Studies)

Schematic diagram of radiation focusing into the target chamber of the XCELS laser facility



Active systems

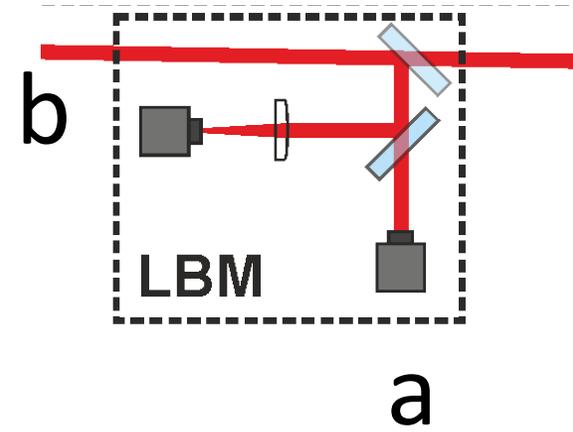
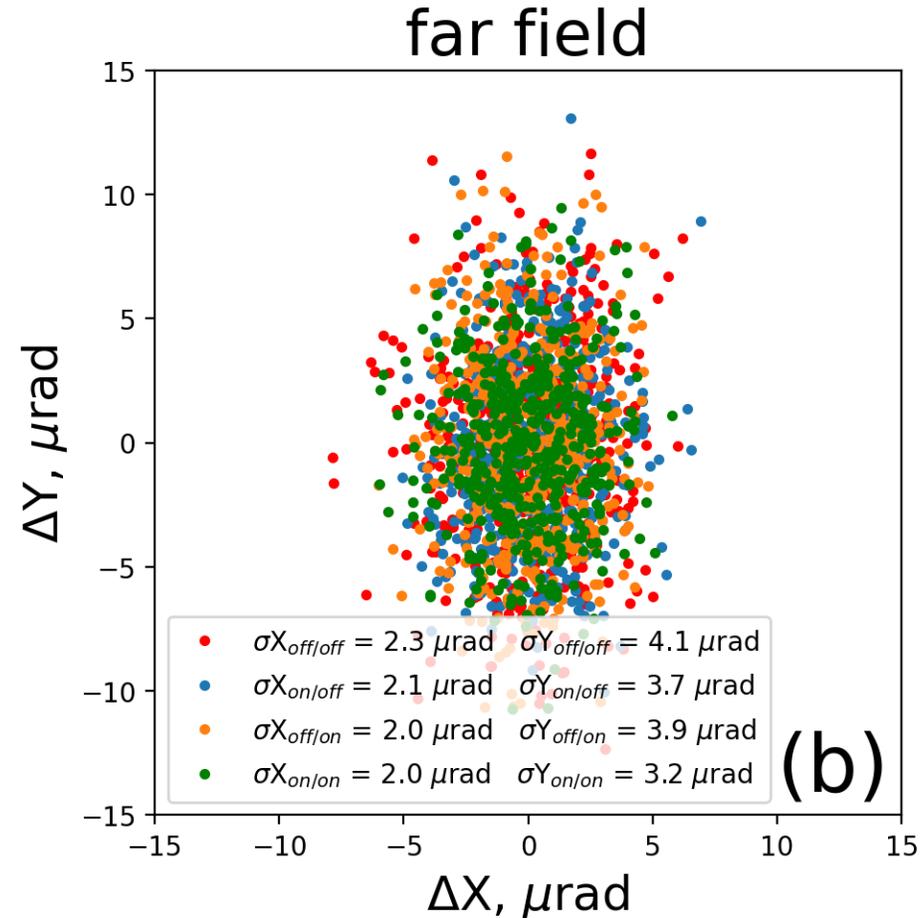
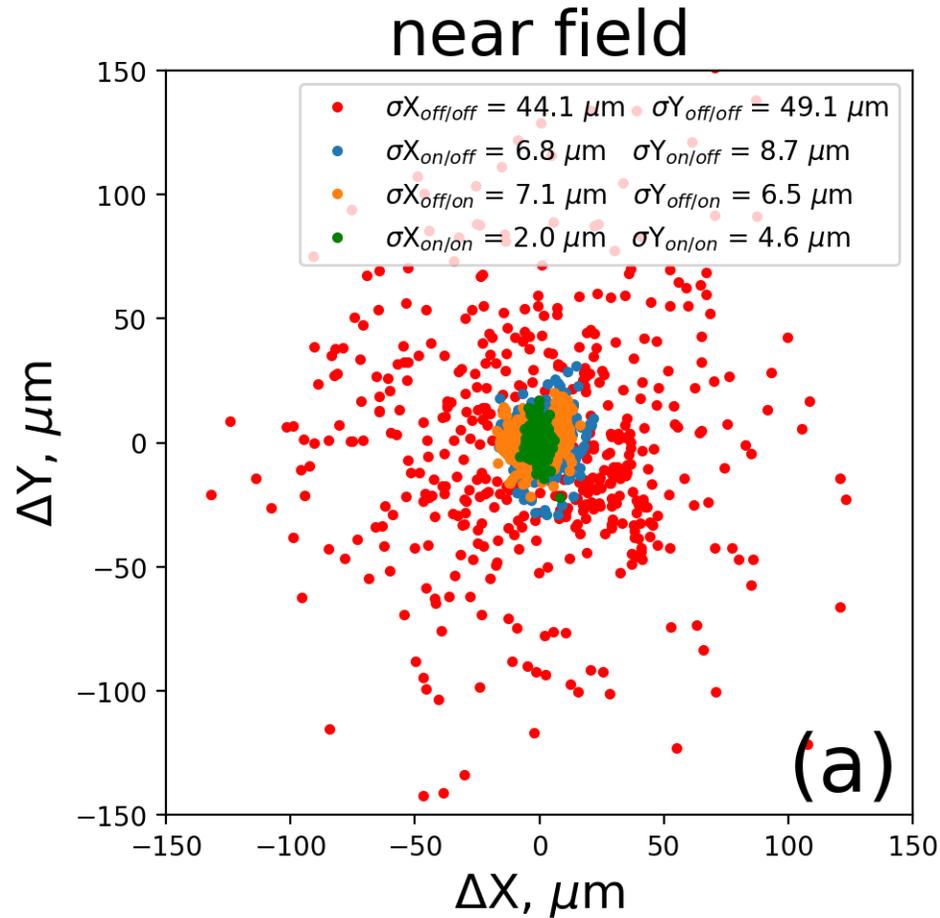
- work continuously
- shutters can be used

Passive systems

- only to check
- have to be removed before shot

Beam control: pointing stabilization set-up

Centroid displacement



- Single chain – stable beam pointing on the diode surface
- Two chains – angular and spatial stabilization of the beam at the CBCM input

Beam control: pointing stabilization set-up

Centroid displacement frequency spectra

