

Неравноплечный интерферометр с линейным разрешением для исследования динамики пространственного распределения скорости в экспериментах физики экстремального состояния вещества на установке ЛУЧ

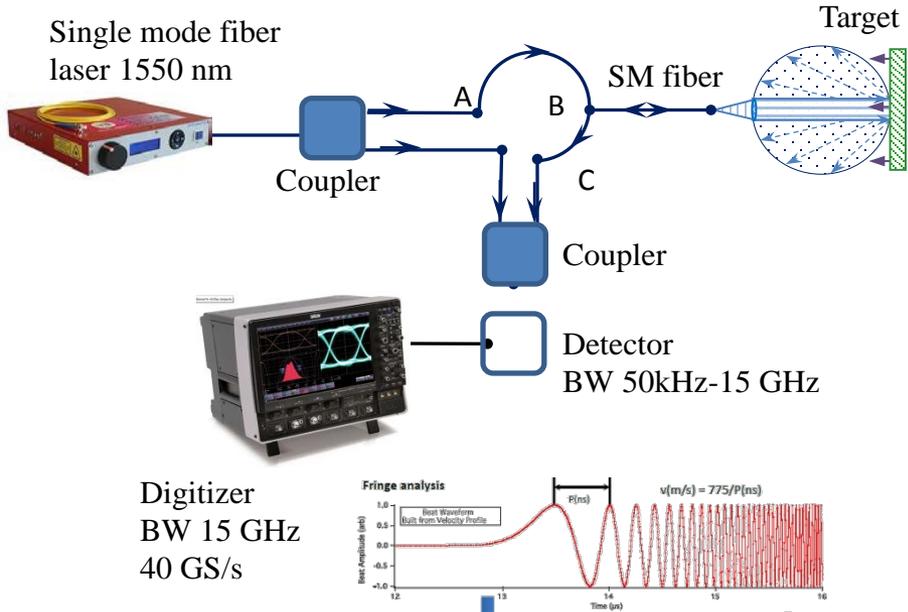
**К.Л. Губский¹, А.В. Михайлюк¹, В.Н. Деркач²,
А.П. Кузнецов¹, В.В. Алексеев²**

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

²Федеральное государственное унитарное предприятие российский федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики

Velocity interferometers

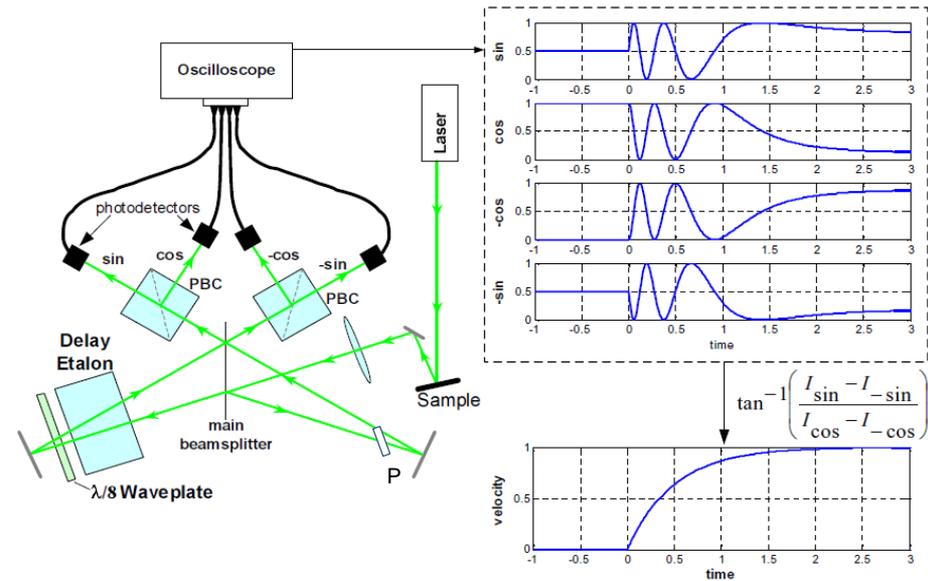
PDV Photonic Doppler Velocimeter



- All-fiber system
- Dust velocity distribution
- Easy to construct multi channel (up to few hundreds) systems

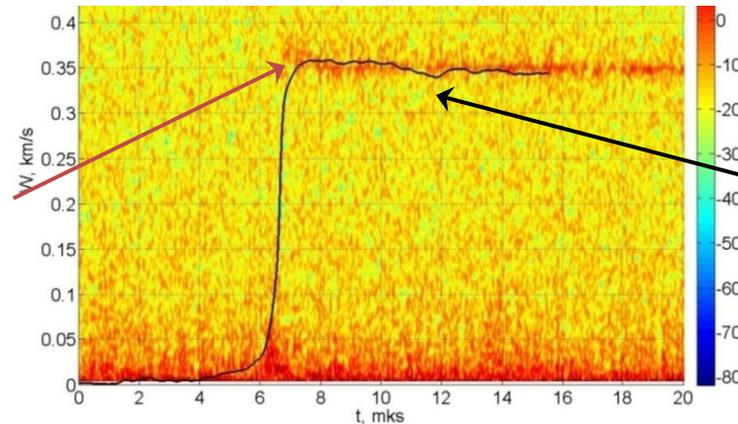
PDV data

VISAR Velocity Interferometer System for Any Reflector



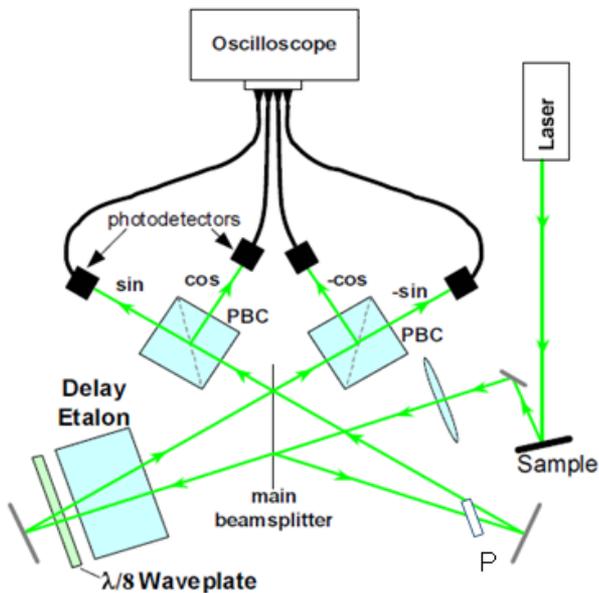
- Flexible
- Accurate

VISAR data



Виды неравноплечных интерферометров

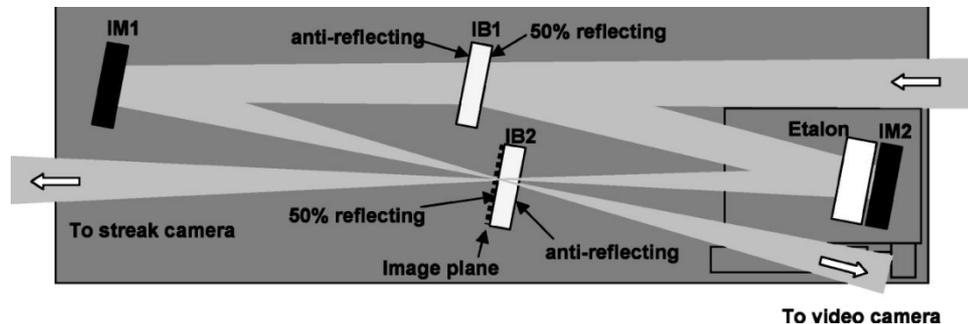
Push-pull VISAR



Интерферометр Майкельсона

- Скорости до 10 км/с
- Многоканальность
- Временное разрешение 1 нс

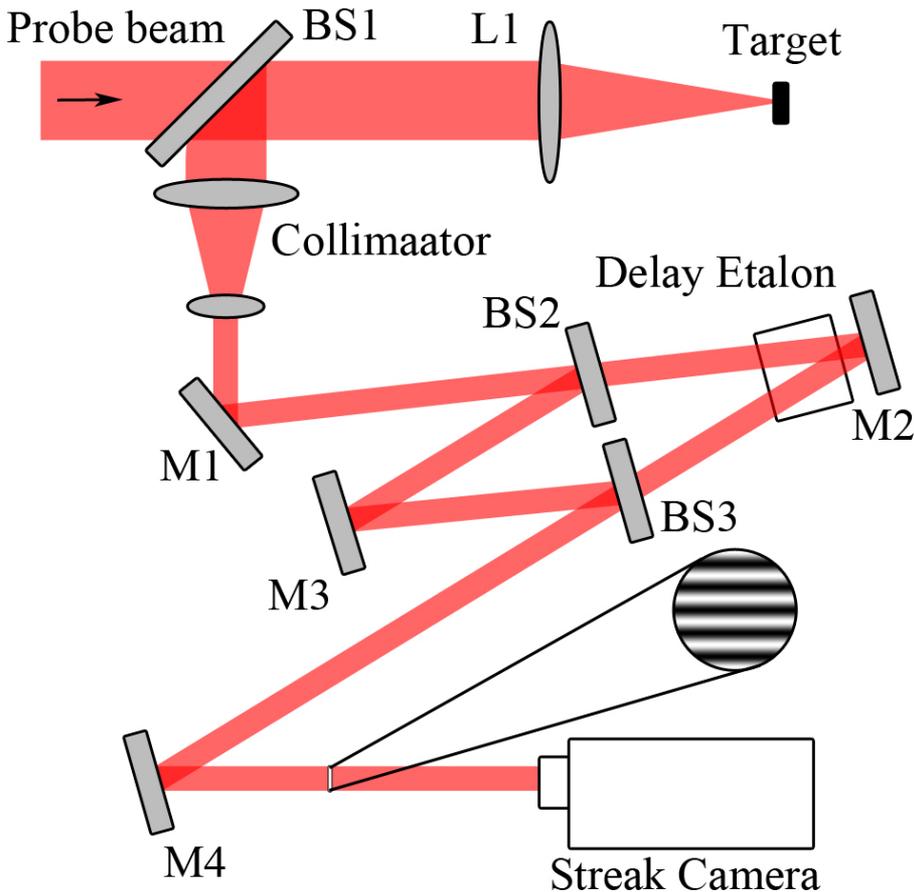
Line imaging velocimeter



Интерферометр Маха-Цандера

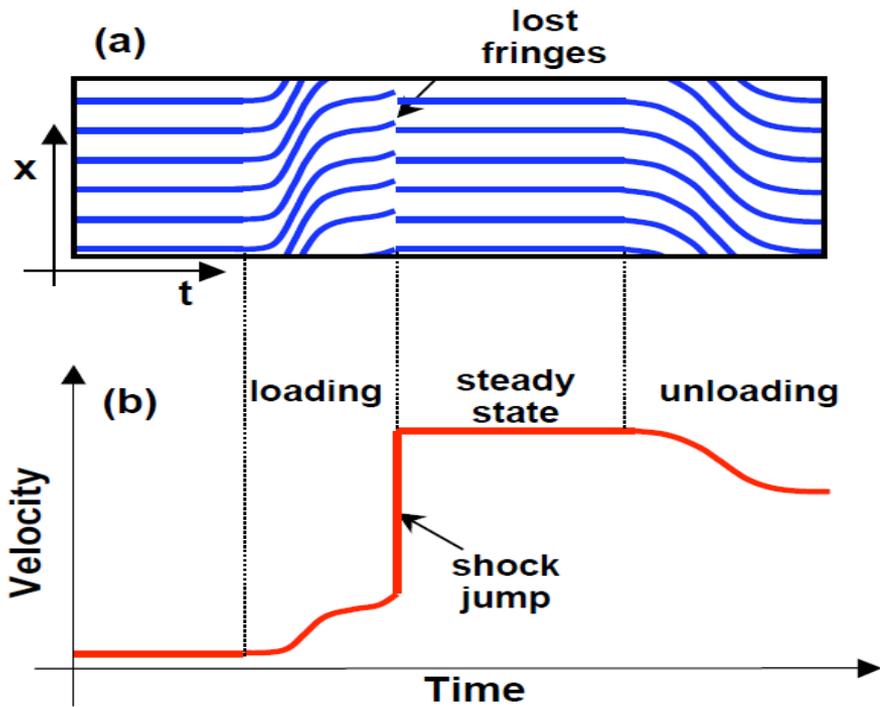
- Скорости до 200 км/с
- Непрерывное пространственное разрешение
- Временное разрешение 10 пс

Принципиальная схема LIV

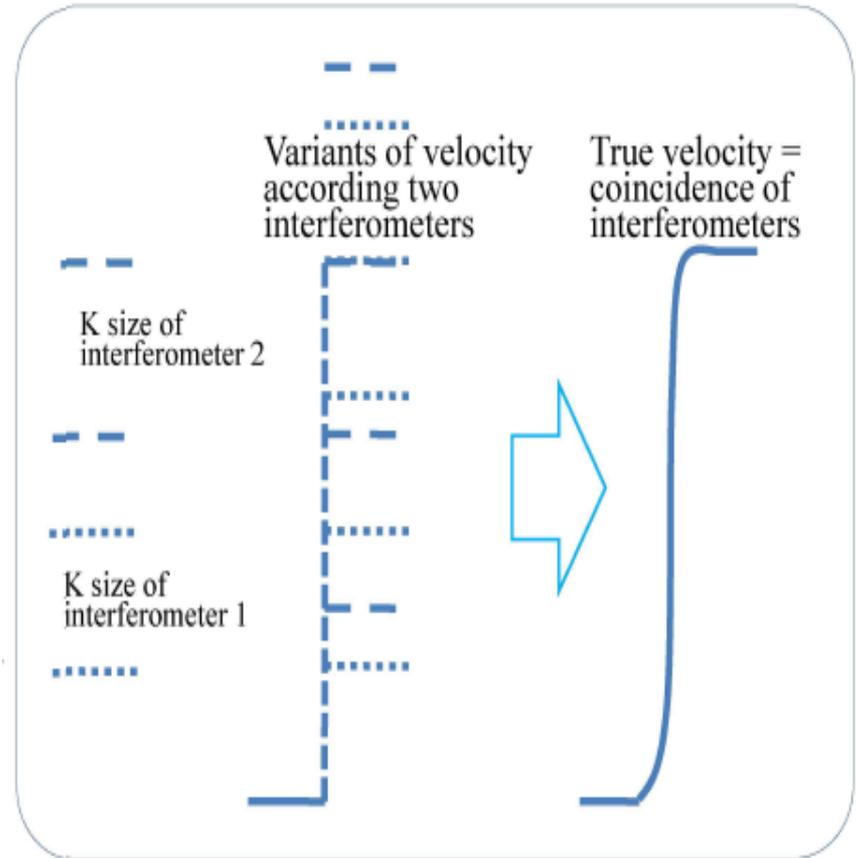


- Построение изображения мишени на щели фотохронографа
- Несколько промежуточных изображений
- Увеличение оптической системы x5-40
- Длина оптической схемы 1-20 м
- Использование излучения с высокой временной и низкой пространственной когерентностью
- Настройка интерферометра по белому свету

Алгоритм вычисления скорости

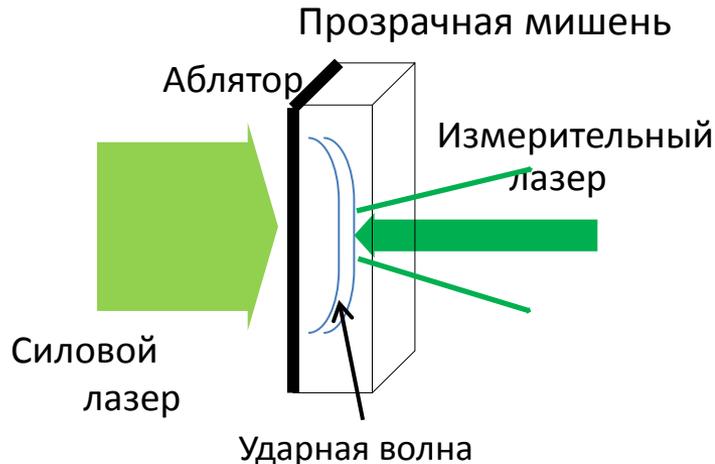


(a) идеализированная запись полос
(b) вычисленная динамика скорости



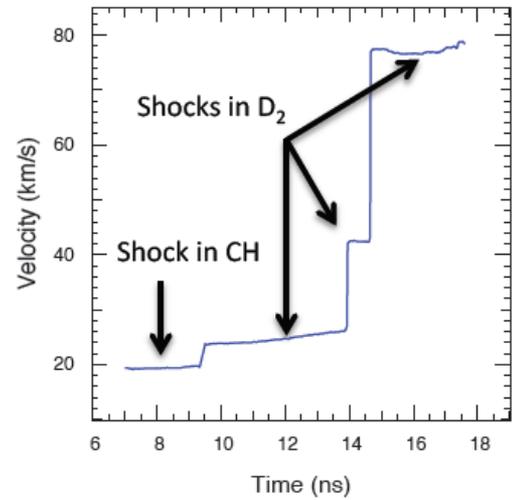
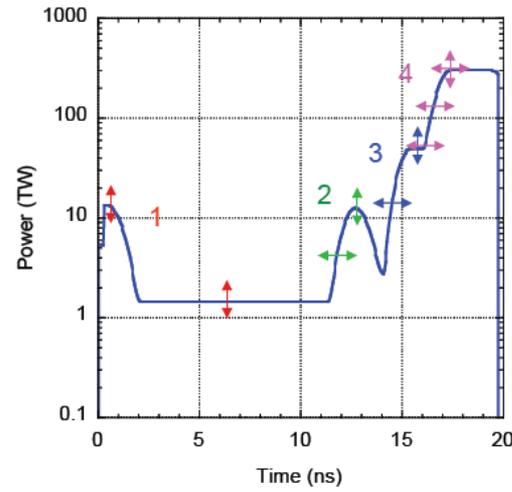
Два интерферометра с различными эталонами образуют нониусную систему. Это позволяет вычислять реальную скорость без использования дополнительных диагностик даже при потере контраста на фронте ударной волны.

МБарные ударные волны в твердых и жидких веществах



Процессы в веществе при ударно-волновом нагружении (фазовые переходы, металлизация прозрачных веществ и т.д.)

Shock timing



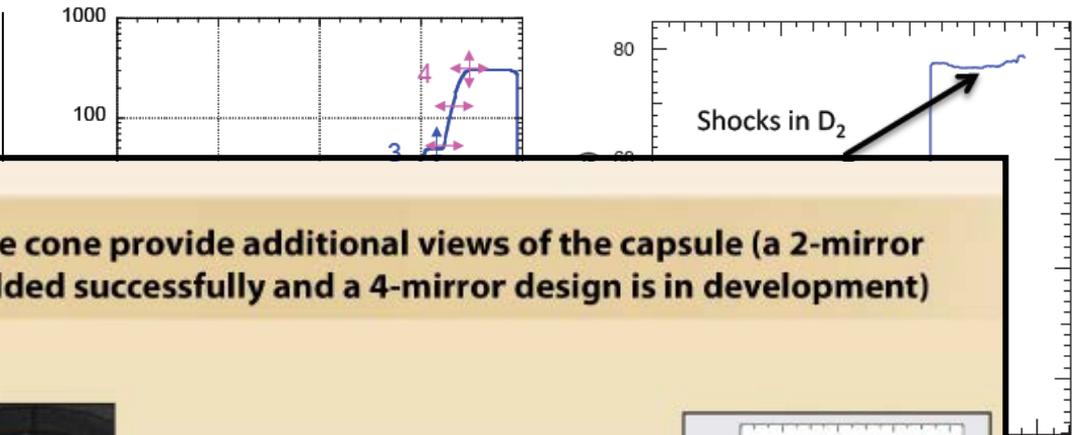
Несколько ударных волн, создаваемых профилированным лазерным импульсом для достижения высоких давлений

Celliers P. M. , Robey H. F., Boehly T. R. **Shock timing on the National Ignition Facility: First Experiments** // *7th International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications Bordeaux, France September 12, 2011*

МБарные ударные волны в твердых и жидких веществах

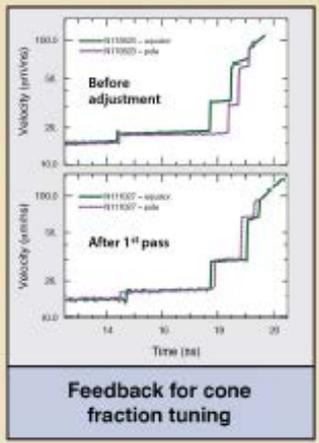
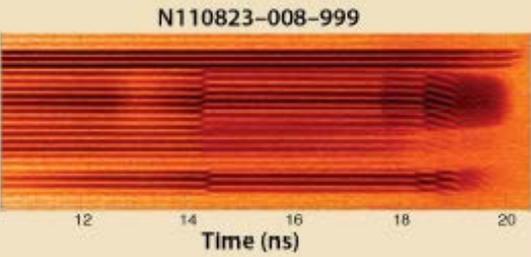
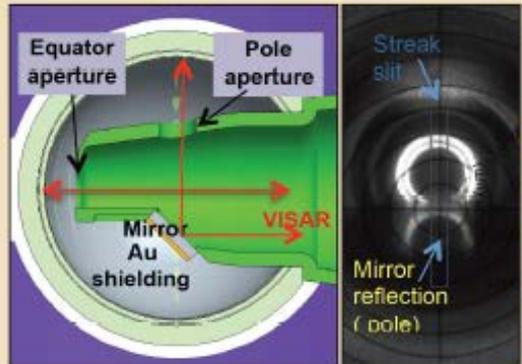
Shock timing

Прозрачная мишень
Аблятор



Multiple views

Mirrors placed in the cone provide additional views of the capsule (a 2-mirror variant has been fielded successfully and a 4-mirror design is in development)



• Tests drive symmetry

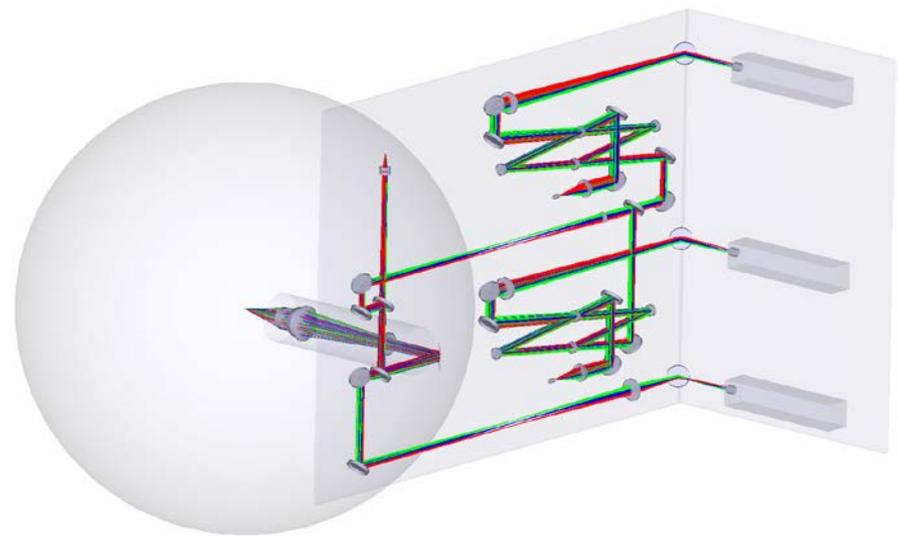
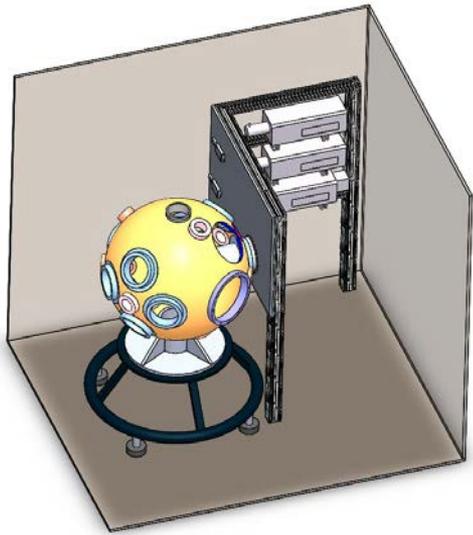
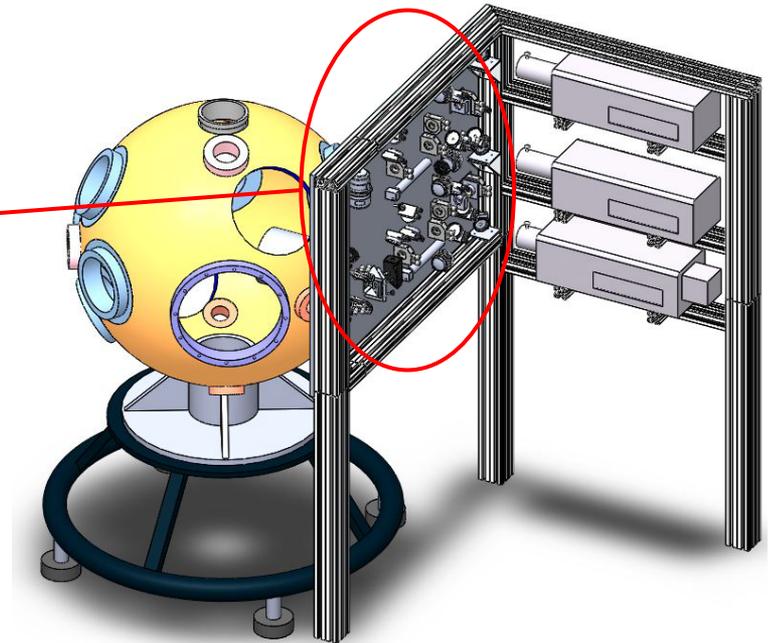
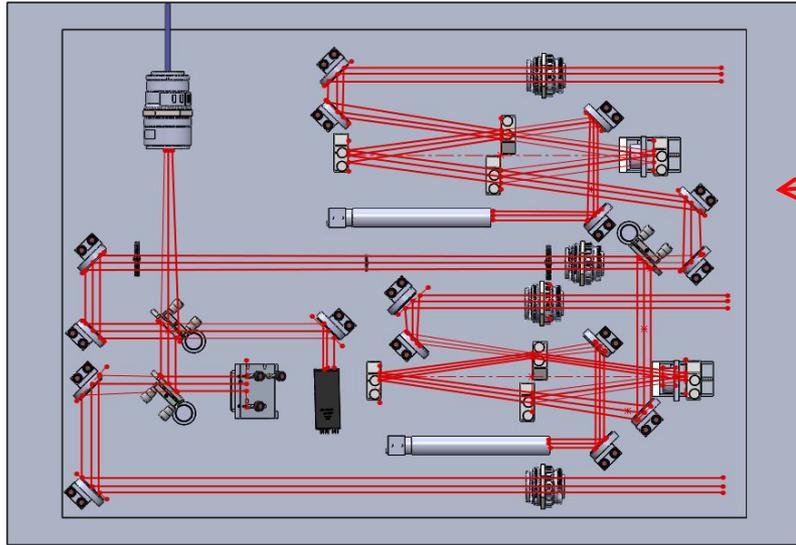
Feedback for cone fraction tuning

Силовой лазер

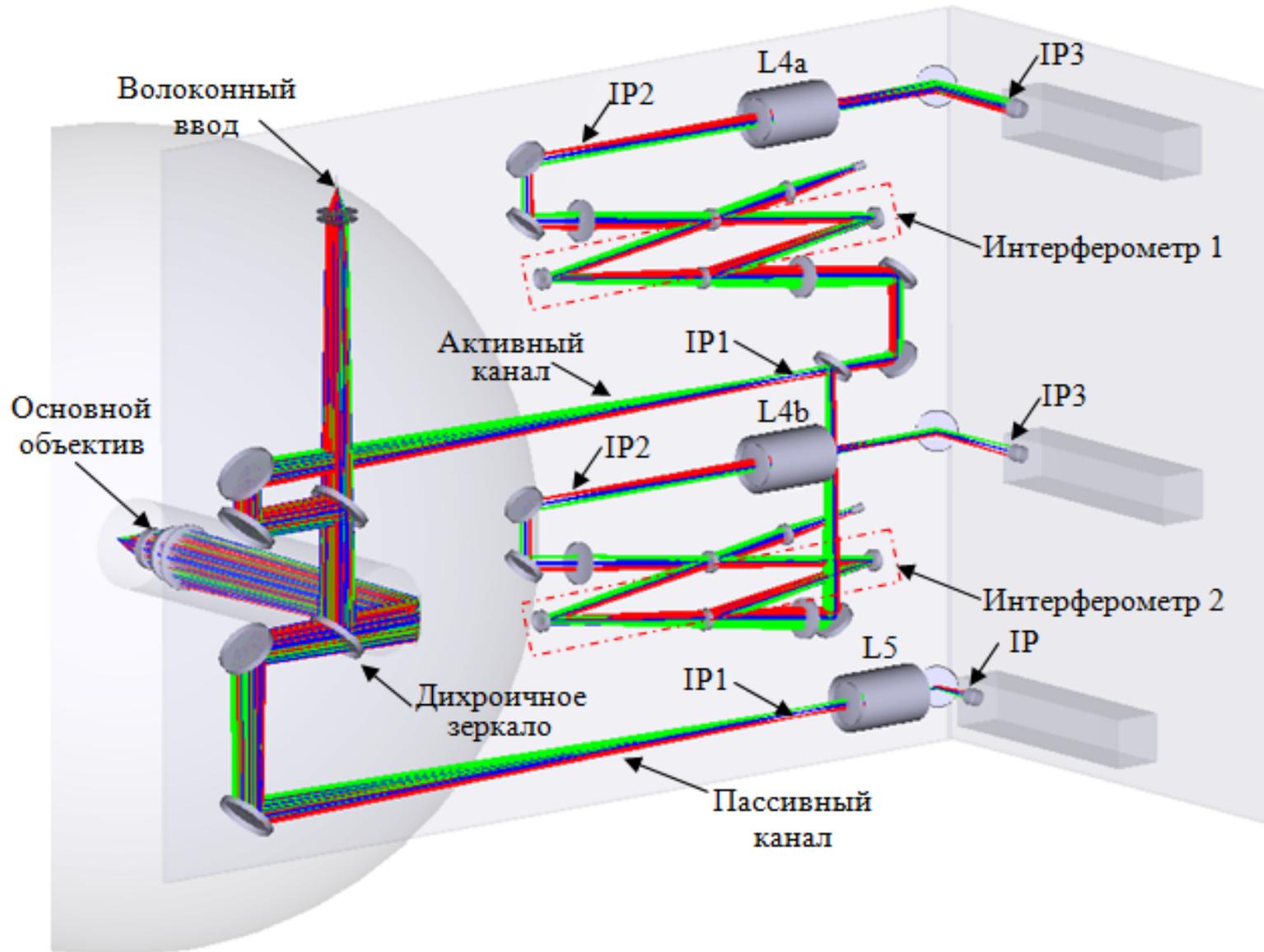
Уд

Процессы в вещ волновом нагру переходы, метал прозрачных вещ

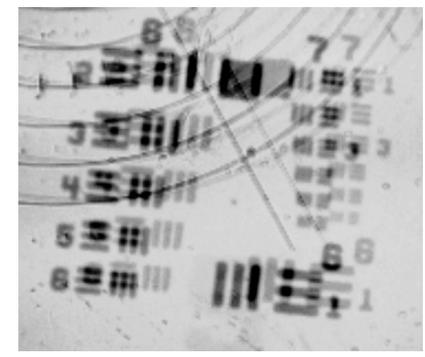
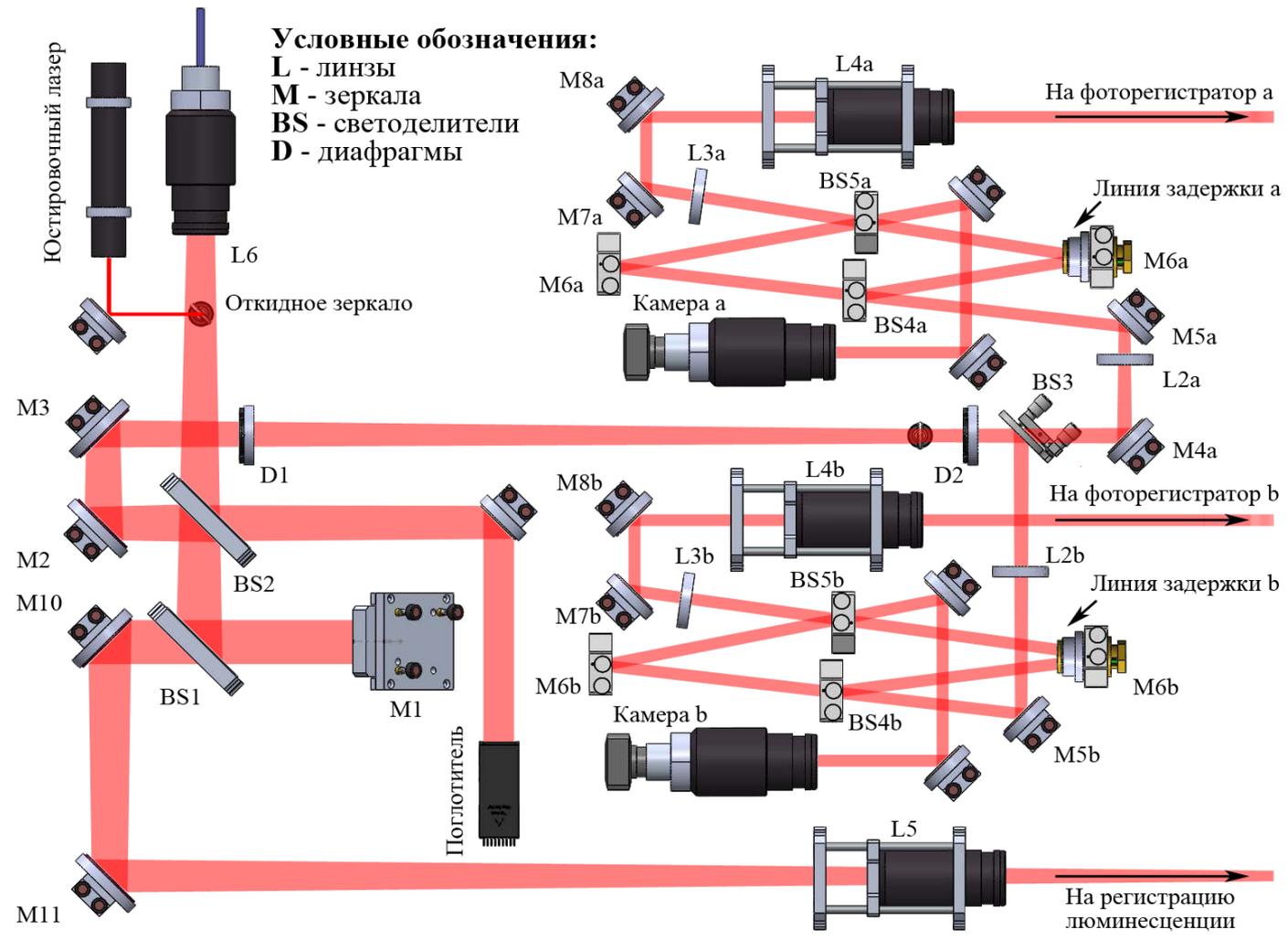
LUCH Line imaging velocimeter



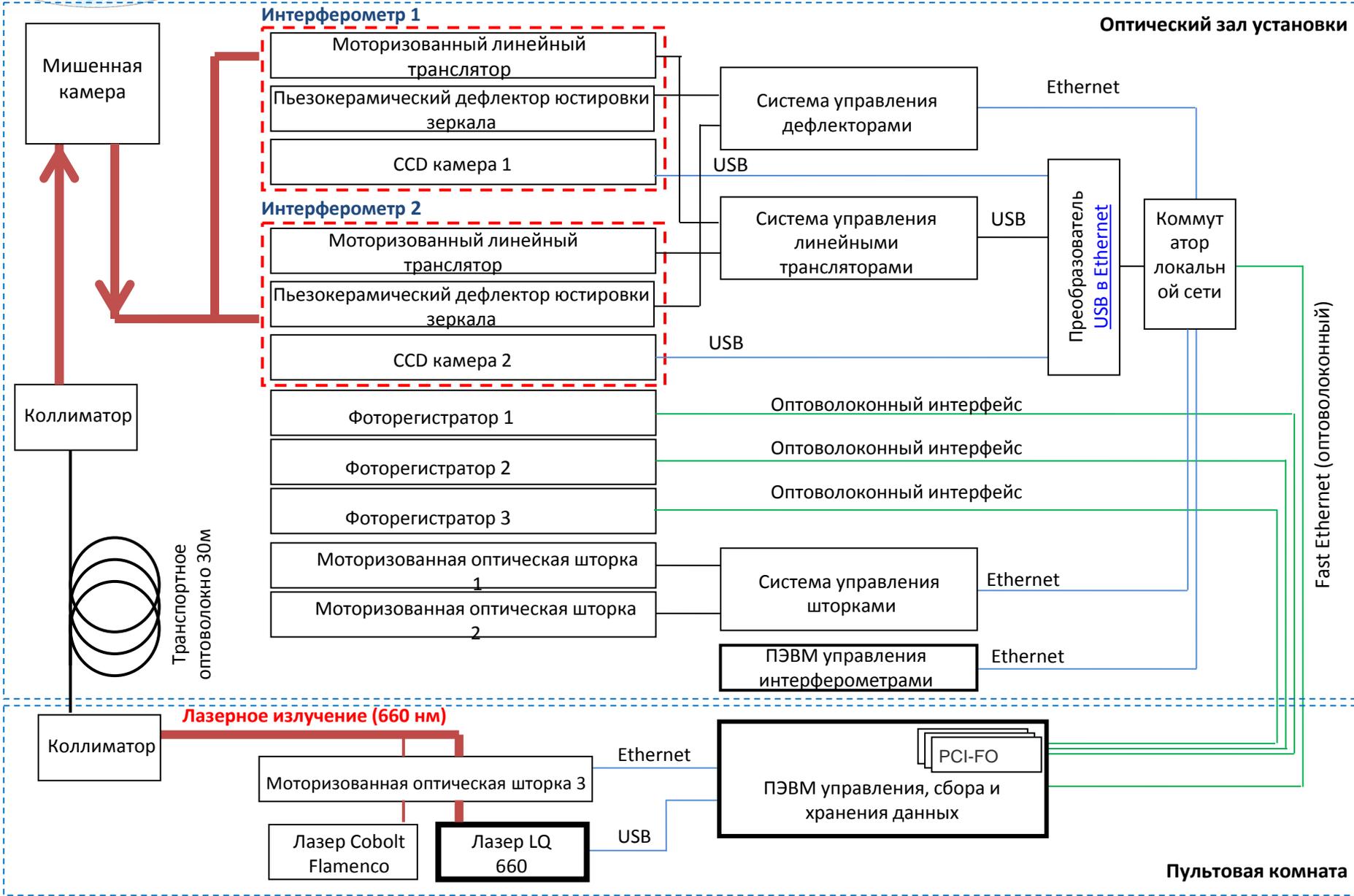
ZEMAX расчеты



Оптическая схема



Блок-схема коммутации

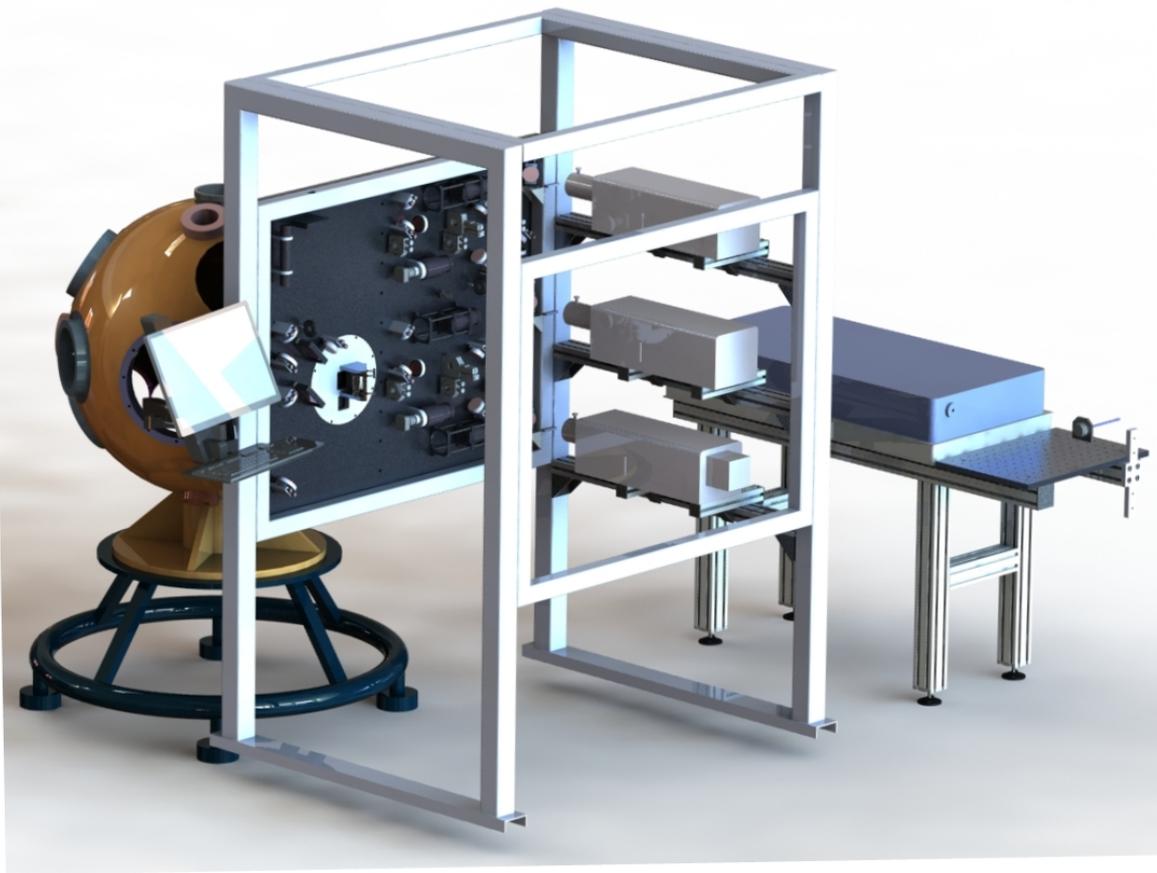


Состав измерительного комплекса

В состав Комплекса входят:

- Оптический Стенд, который регистрирует параметры движения отражающей (светящейся) поверхности мишени;
- Источник лазерной подсветки с регулируемой мощностью. Источник лазерной подсветки имеет длину волны 660 нм;
- Удаленная система управления и обработки информации.

Комплекс разработан для интеграции в установку «Луч»



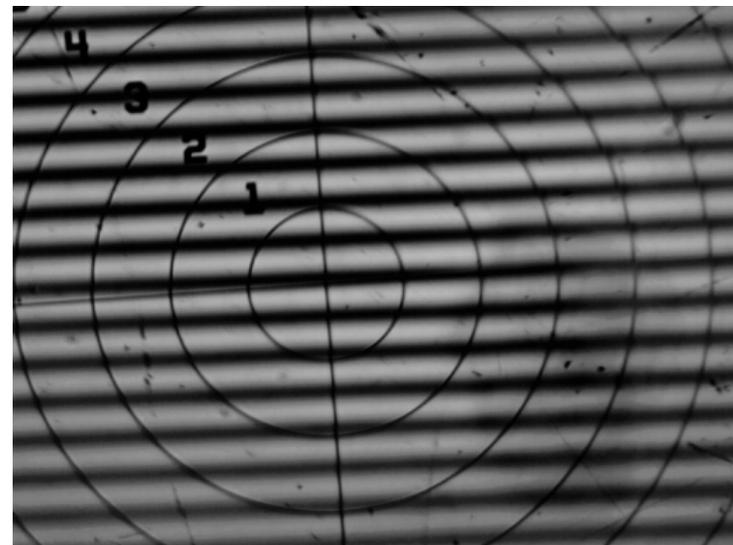
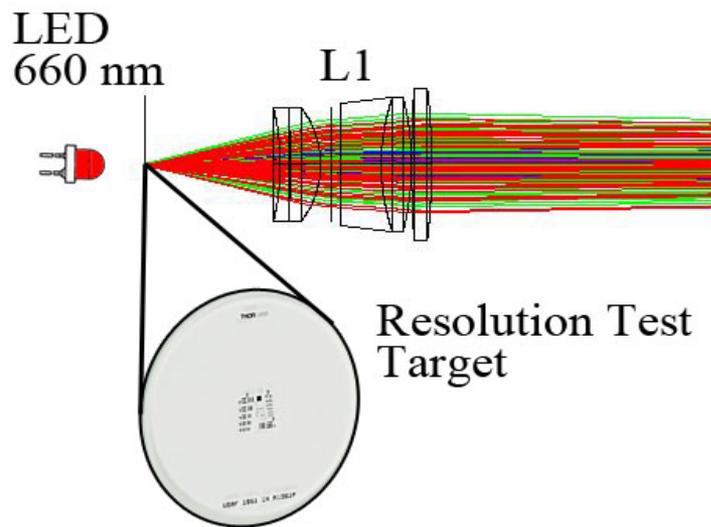
Внешний вид интерферометра



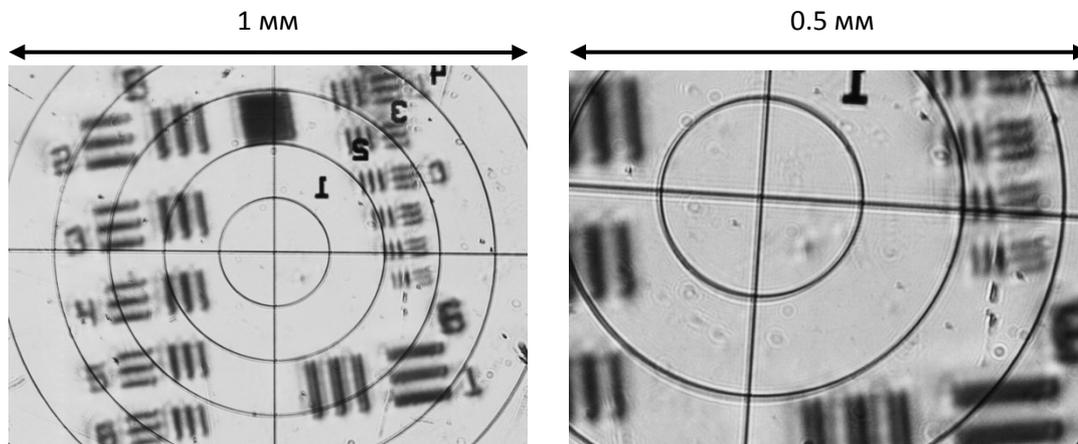
Параметры

Диапазон скоростей:	5 – 100 км/с
Точность:	1,5%
Размер объекта:	300-1000 мкм
Пространственное разрешение:	5 мкм

Измерение пространственного разрешения



Интерференционная картина по белому свету



Тестовые изображения для 0.6 и 0.3 мм мишеней

Параметры системы	
Размер мишени, мм	0.3-0.6-1
Увеличение	12 – 11--4
Пространственное разрешение, мкм	3 – 5--8

Источник излучения

Параметр	OMEGA	Z6 GSI	NIF	ЛУЧ	Почему?
Длина волны, нм	532	660	660	660	Далеко от силового лазера
Длительность импульса, нс	10	80	1200	300	Увидеть весь процесс
Энергия, мДж	0,2	3	200	20	Построить изображение
Мощность, кВт	30	50	150	100	Построить изображение
Джиттер, нс		20-40	Не важно	<2	Поймать процесс

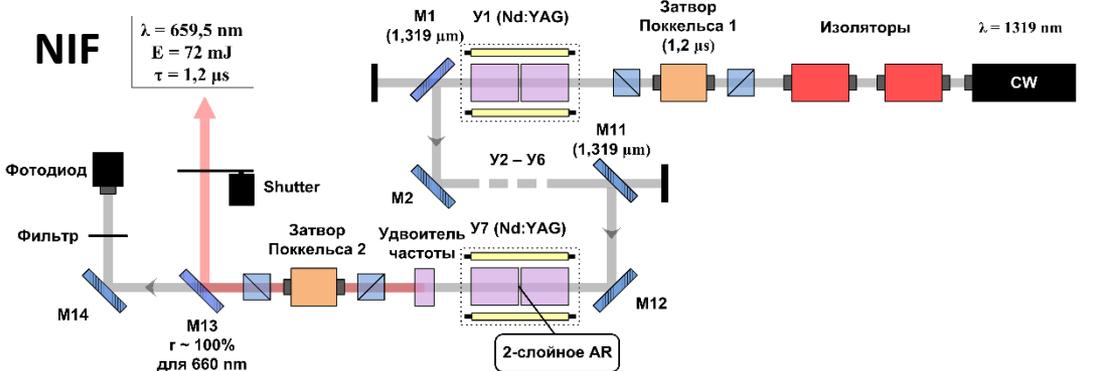
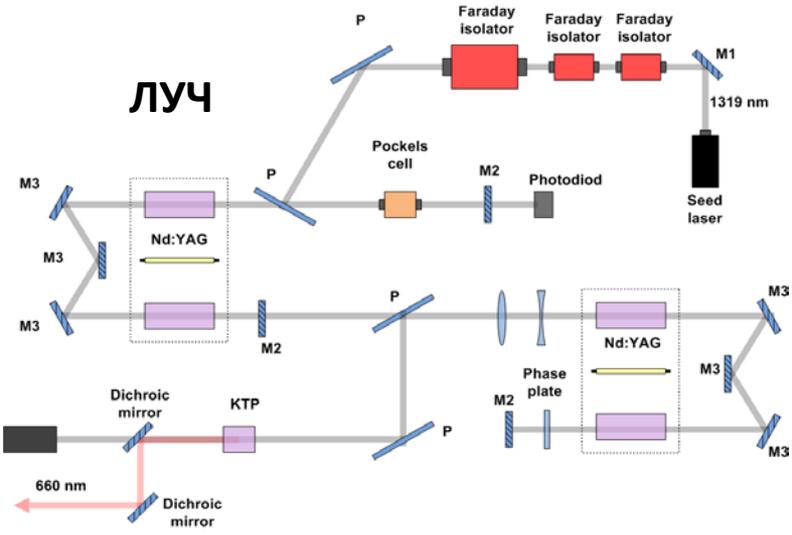
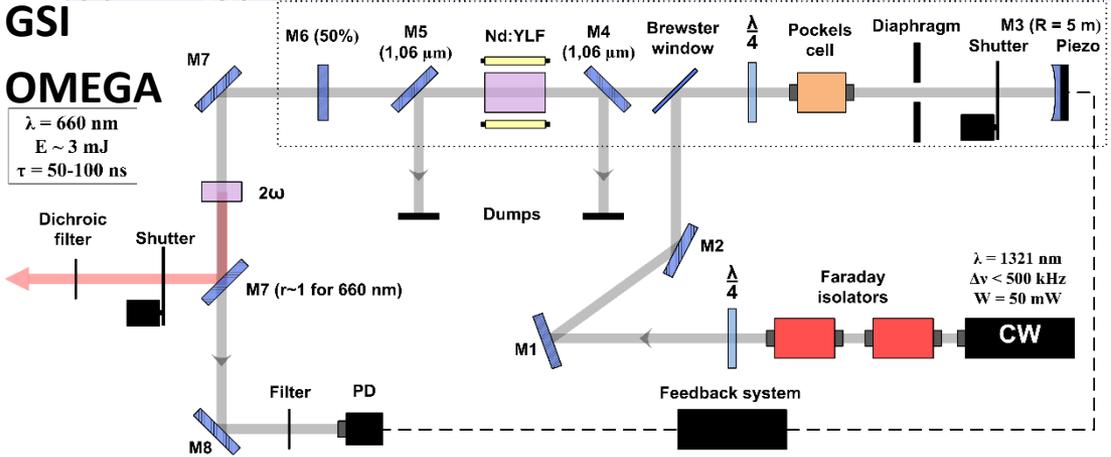
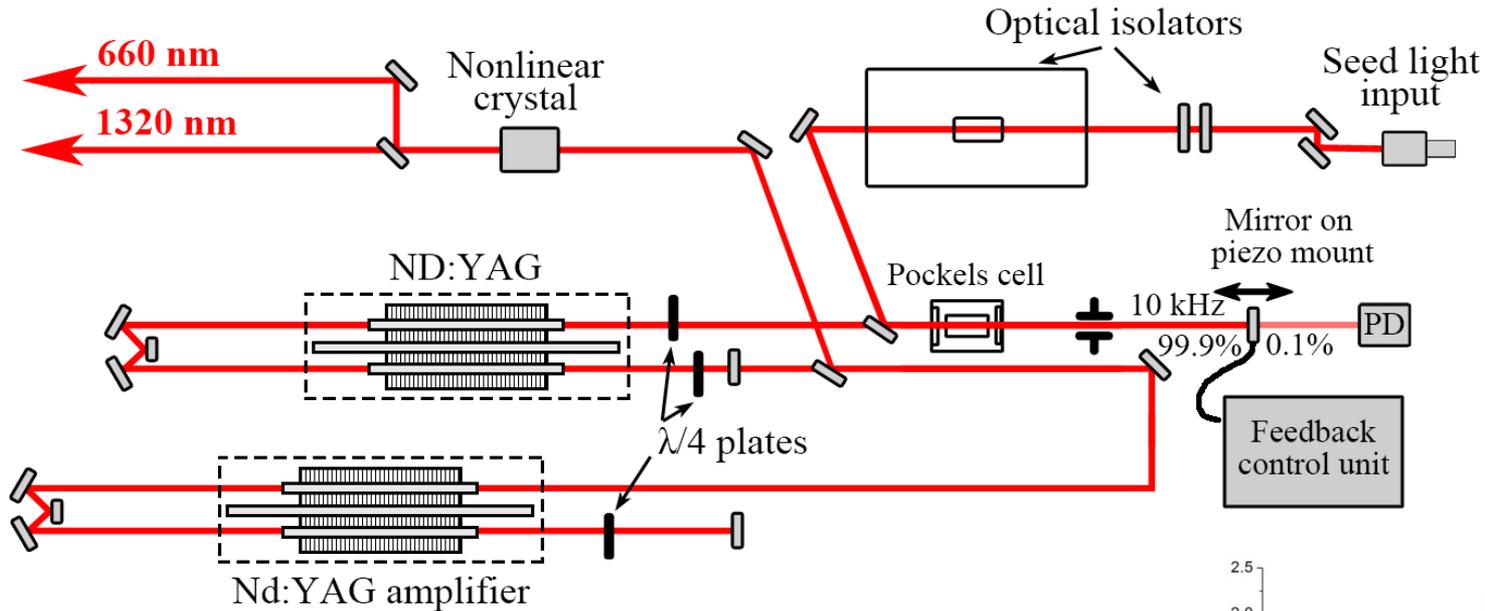
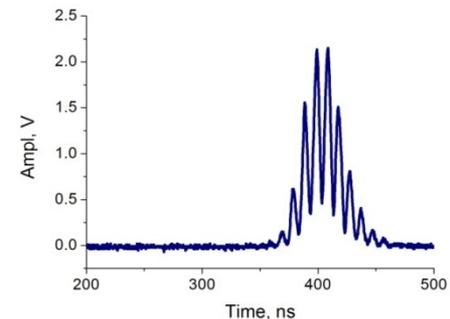


Схема зондирующей лазерной системы

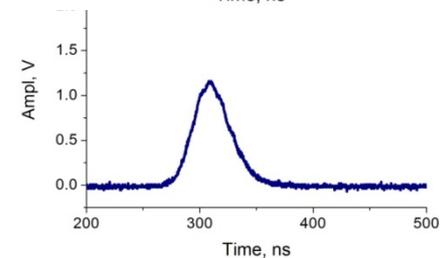
Одночастотный режим работы импульсного Nd:YAG лазера в данной схеме достигается за счет инъекции одночастотного излучения в резонатор. Длина волны излучения лазера инъекции при этом подстраивается под одну из продольных мод импульсного лазера вблизи центра линии усиления.



Импульс многочастотной генерации

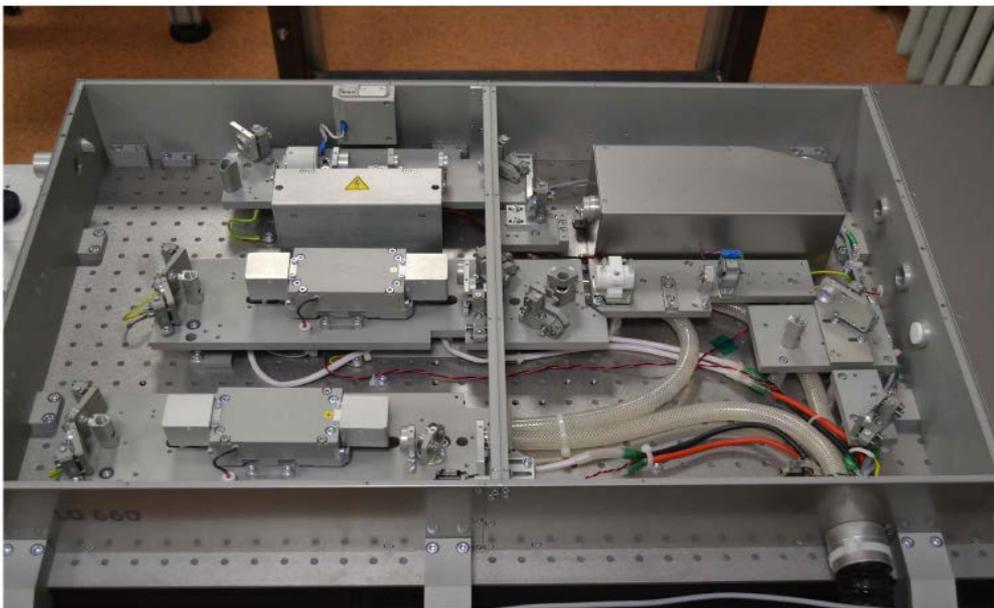


Импульс одночастотной генерации



Зондирующая лазерная система

Разработанная лазерная система выполнена по схеме MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) и включает в себя импульсный Nd:YAG лазер на длине волны 1319 нм, работающий в режиме модуляции добротности, непрерывный полупроводниковый перестраиваемый лазер на той же длине волны, двухпроходный усилитель и преобразователь во вторую гармонику.

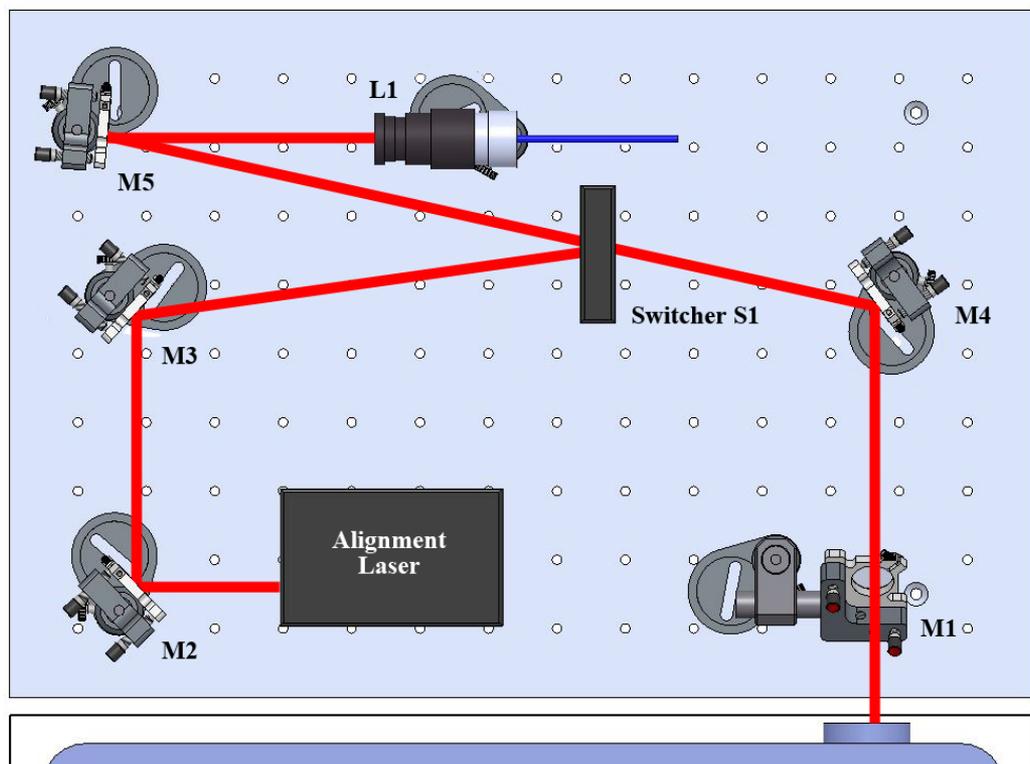


Лазер Solar LQ 660

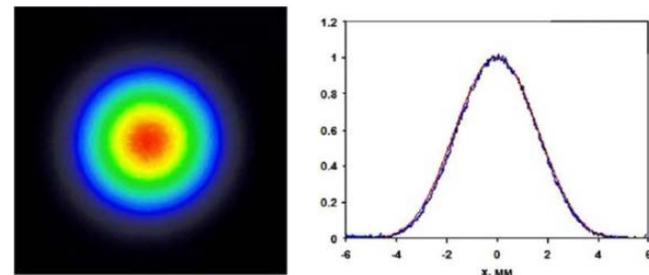
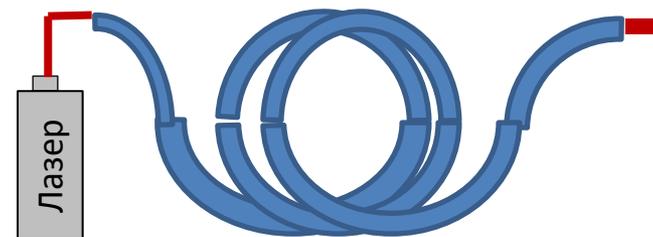
Параметры лазера

Длина волны, нм (2ω)	660
Частота повторения, Гц	10
Энергия, мДж	~30
Длительность, нс	~50

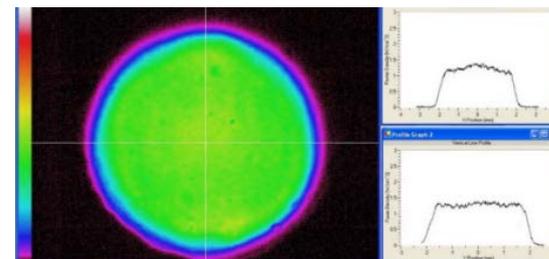
Система ввода излучения в оптоволоконный кабель



Оптическое волокно
(диаметр жилы 1 мм, 30м)



До волокна

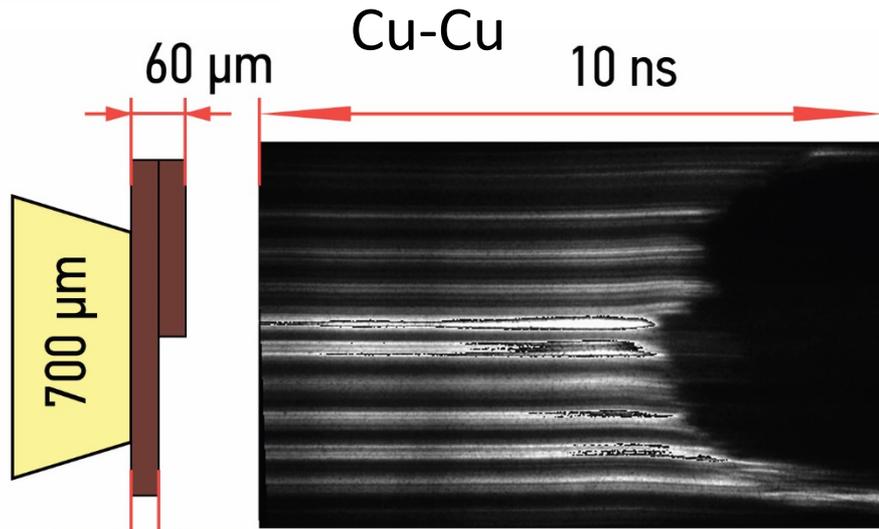


После волокна

Характеристики лазера Cobolt Flamenco

Длина волны излучения, нм	660
Выходная мощность, мВт	100
Спектральная полоса излучения, МГц	<1
Стабильность длины волны, нм	± 0,02
Диаметр луча в апертуре, мкм	700
Отклонение (расходимость) луча (полный угол), мрад	< 1,5
Поляризация	> 100:1

Результаты тестовых экспериментов



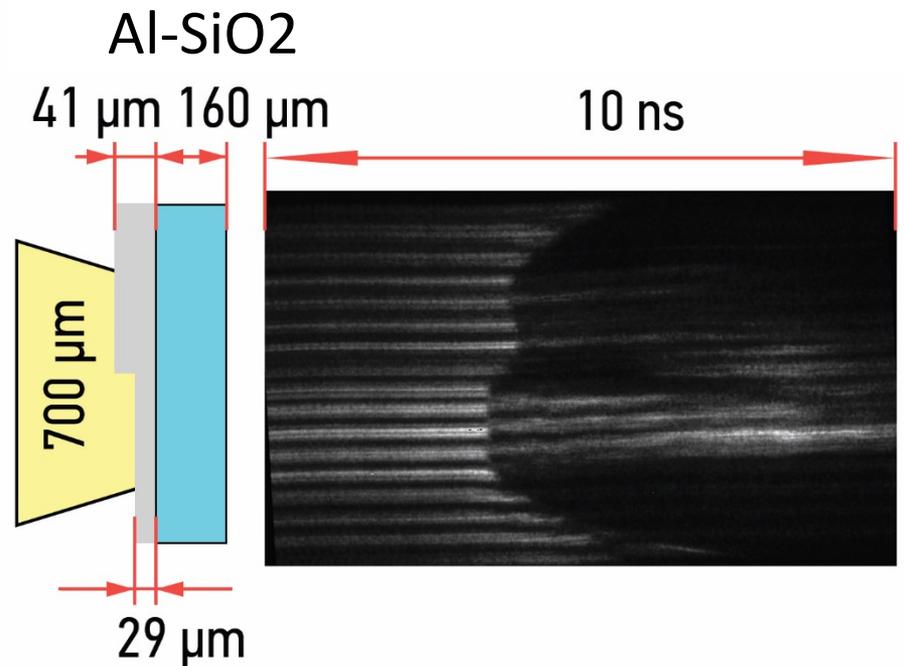
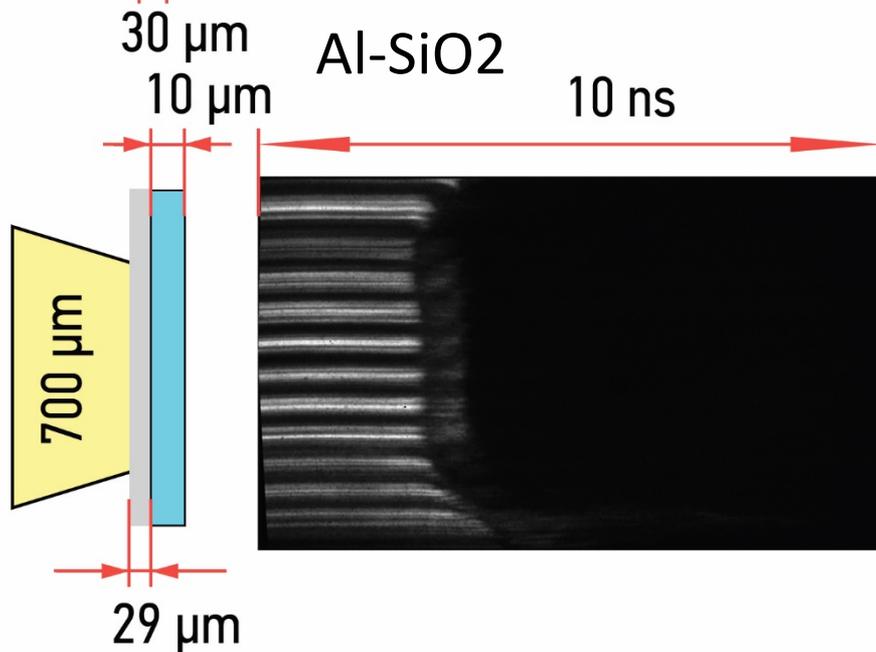
Силовой лазер

Длина волны (2ω) - 527 нм

Энергия в импульсе - ~ 500 Дж

Длительность импульса - ~ 4 нс

Размер пятна на мишени - 0.3×0.7 мм



Заключение

- Создан лазерный интерферометрический комплекс для измерения скорости в диапазоне 5-100 км/с.
- Реализована схема одночастотной генерации Nd лазера при инъекции внешнего излучения и стабилизации длины резонатора по сигналу двухлучевой интерференции.
- Проведена серия тестовых экспериментов по ударно-волновому нагружению вещества лазерным импульсом.