

Тема 11

Прикладные аспекты филаментации

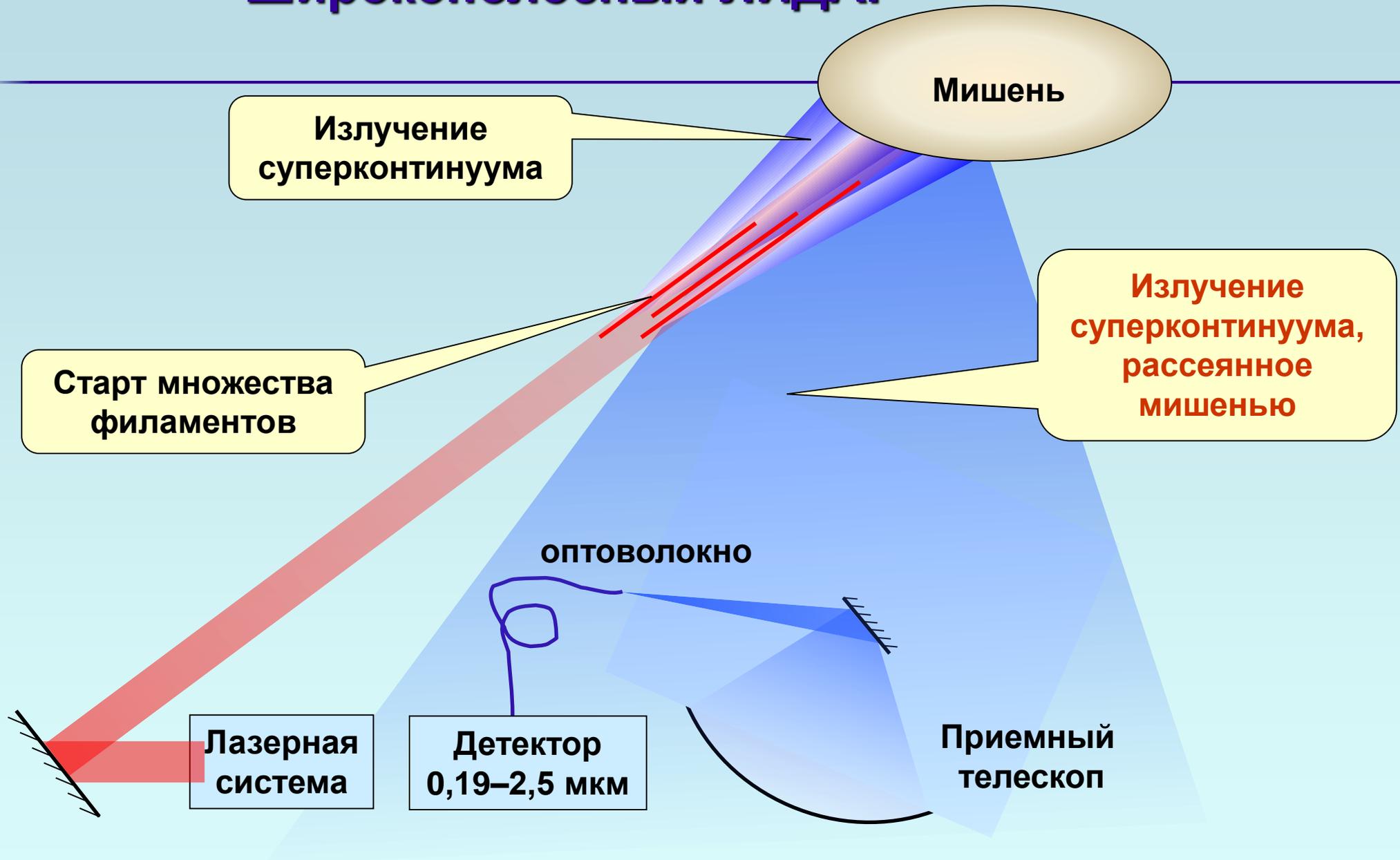
План лекции

§11 Применение филаментации

- 11.1 Фемтосекундные лидары.
- 11.2 Перенос энергии высокой плотности. Эмиссионная и флуоресцентная спектроскопия.
- 11.3 Управление высоковольтным разрядом.
- 11.4 Виртуальный СВЧ-волновод.
- 11.5 Запись элементов микрооптики.

11.1 Фемтосекундные лидары

Широкополосный ЛИДАР



Удаленное зондирование атмосферы фемтосекундными лазерными импульсами высокой пиковой мощности

Параметры
излучения:
100 фс, 220 мДж,
 $R_f=30\text{М}$,
 $\lambda_0=790\text{ нм}$

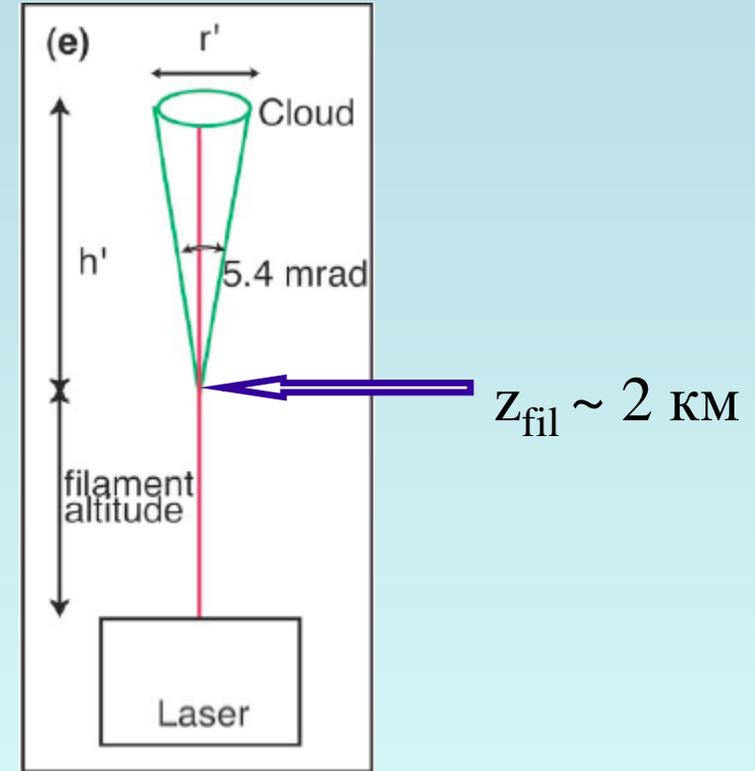
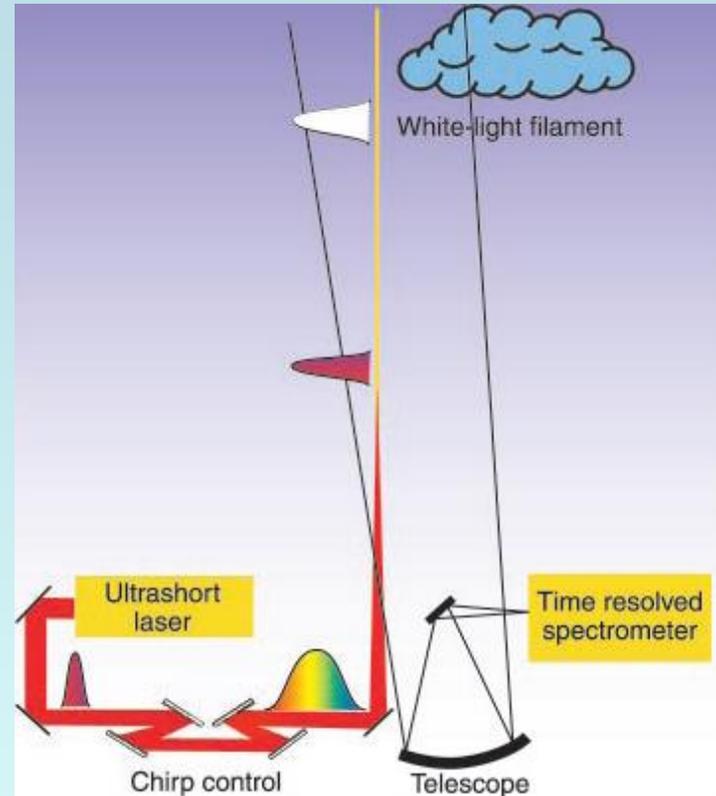


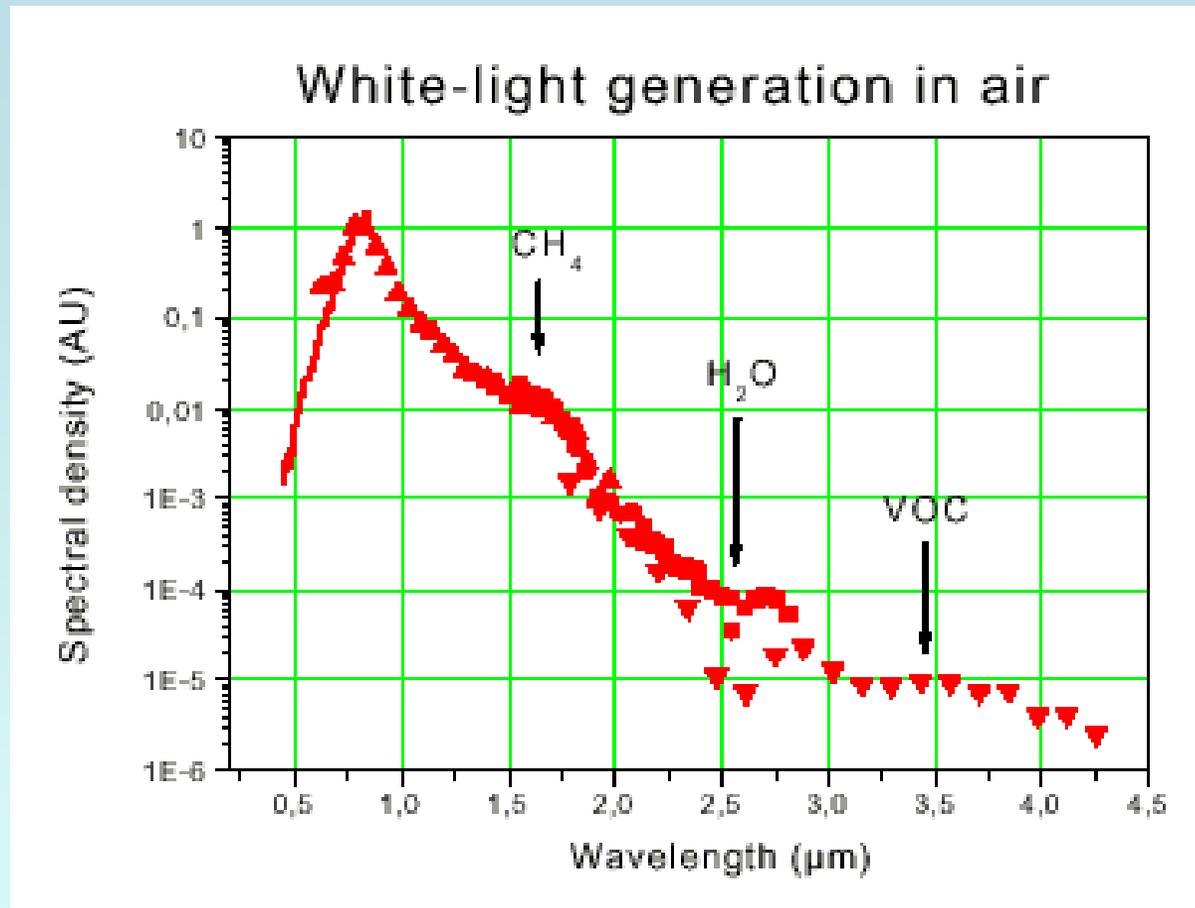
Схема эксперимента с использованием фемтосекундного лидара.

Филаментация начинается на заданной высоте, там же происходит генерация суперконтинуума. Его обратное рассеяние детектируется на земле.

Kasparian J., Rodriguez M., Mejean G., et al. Science, 301(5629), 61 (2003).

M. Rodriguez, R. Bourayou, G. Me'jean, et al. PRE, 69, 036607 (2004)

Излучение суперконтинуума



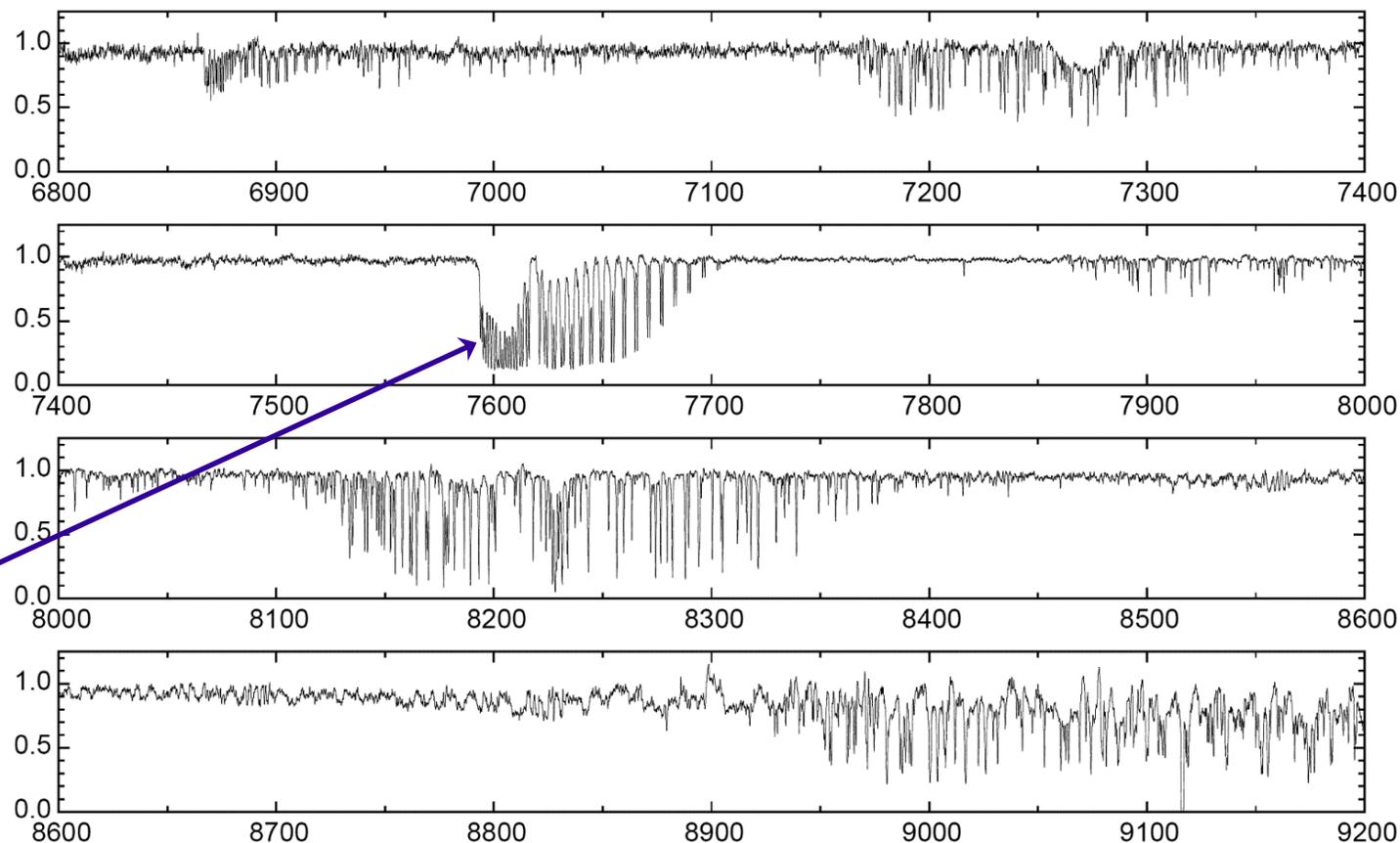
В процессе взаимодействия со средой спектр лазерного импульса уширяется на сотни нанометров как в стоксову, так и антистоксову области

Импульс: 800 нм, 2 ТВт, 35 фс

Kasparian J., Rodriguez M., Mejean G., et al. Science, 301(5629), 61 (2003)

Эффективность преобразования энергии импульса в энергию коротковолнового крыла суперконтинуума составляет ~ **1%**

Зондирование окружающей среды: лидар белого света

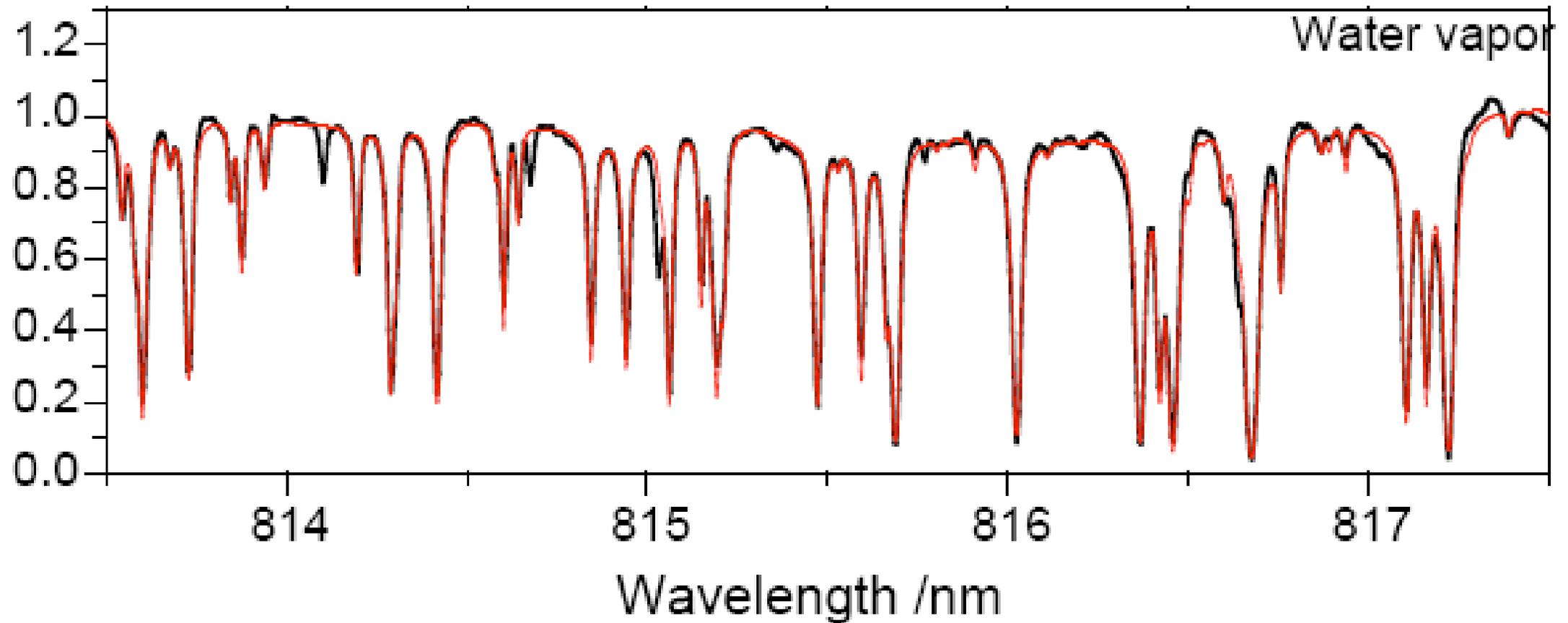


O₂-A полоса
на 762 нм,

**Спектры поглощения высокого разрешения, полученные в одном выстреле с
высоты 4,5 км**

Kasparian J., Rodriguez M., Mejean G., et al. Science, 301(5629), 61 (2003)

Нормированные спектры паров воды



Сравнение измерений фемтосекундным ЛИДАРом и расчета по базе данных HITRAN

*Teramobile Project,
2-m telescope of the Thüringer Landesternwarte in Tautenburg, Germany*

Зондирование окружающей среды: преимущества излучения суперконтинуума при филаментации

- 1. Высокое пространственное разрешение (имеет фемто-секундную длительность).**
- 2. Охватывает ближний и средний инфракрасный диапазоны длин волн, в которых лежат линии поглощения многих загрязняющих примесей.**
- 3. Широкий спектральный диапазон позволяет одновременно зондировать несколько параметров атмосферы и выбирать нужный диапазон длин волн.**
- 4. Высокая эффективность преобразования энергии лазерного импульса в суперконтинуум, до 5-10%, т.е. десятки и сотни миллиджоулей.**
- 5. Источник суперконтинуума (филамент) может быть приближен к объекту зондирования.**

11.2 Перенос энергии высокой плотности. Эмиссионная и флуоресцентная спектроскопия

Зондирование и диагностика биоаэрозолей ЛИДАР на двухфотонной флуоресценции



Source: Claude Bernard Lyon 1 University

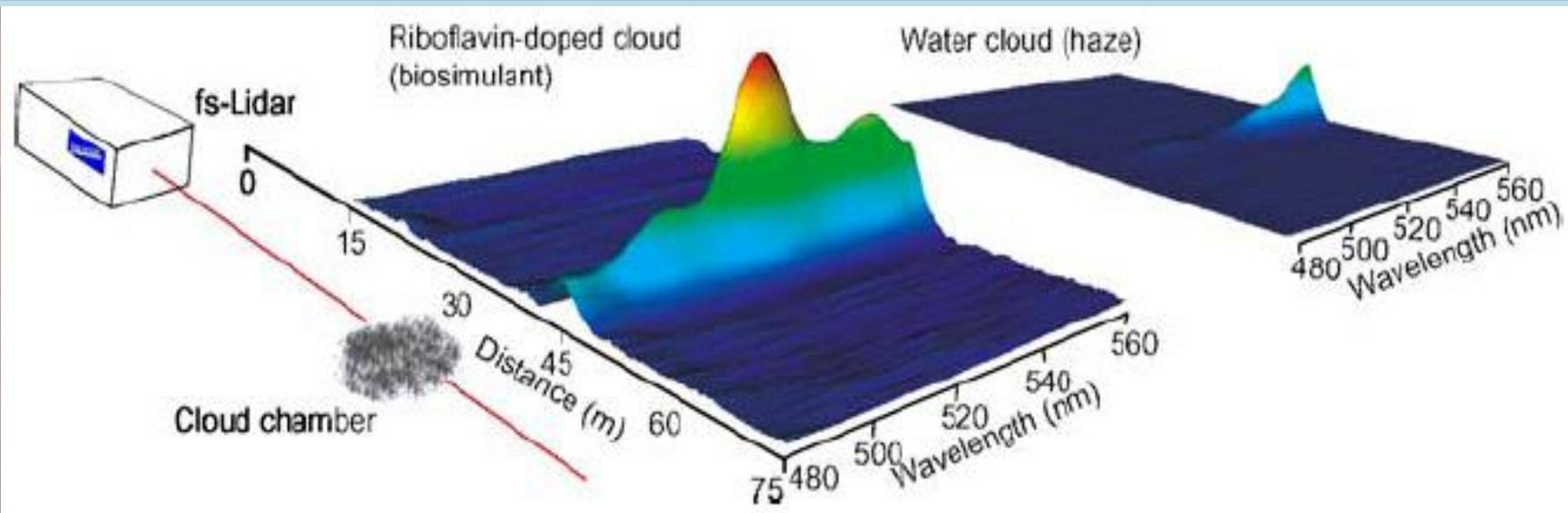


Схема эксперимента по зондированию на расстоянии 45 м облака аэрозоля с частицами, содержащими рибофлавин (слева). Размер частиц 1 мкм, концентрация рибофлавина 0,02 г/л.

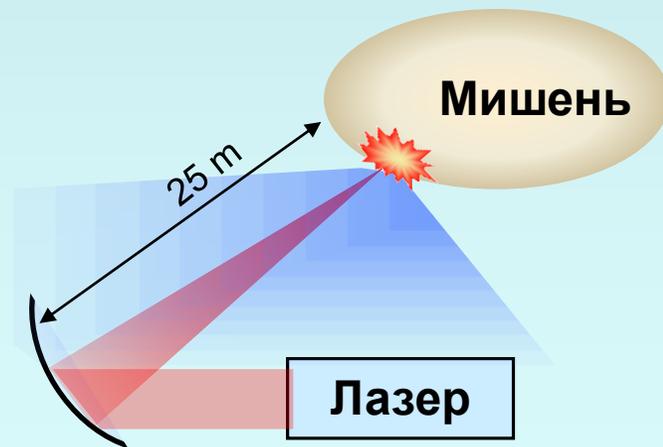
Зарегистрированный сигнал флуоресценции, как функция расстояния и длины волны, полученный для облака водных частиц, содержащих рибофлавин (посередине).

Сигнал, полученный для облака водного аэрозоля без рибофлавина (справа).

Пространственное разрешение 45 см, ограничивается временем флуоресценции 3 нс.

Спектроскопия пробоя, индуцированного импульсным лазерным излучением (LIBS)

Лазерный импульс создает плазму оптического пробоя на поверхности удаленной мишени, вызывая абляцию и создавая излучение с поверхности, которое может быть использовано для спектрального анализа материала мишени.



Эксперименты по получению спектров R-LIBS в атмосфере

Энергетический порог флюоресценции (абляции)

Два механизма флюоресценции:

1. 3-х фотонное поглощение
2. Тепловой механизм

Порог флюоресценции (абляции) мишени:

для меди $\sim 0,12$ Дж/см²;

золота $\sim 0,25$ Дж/см²;

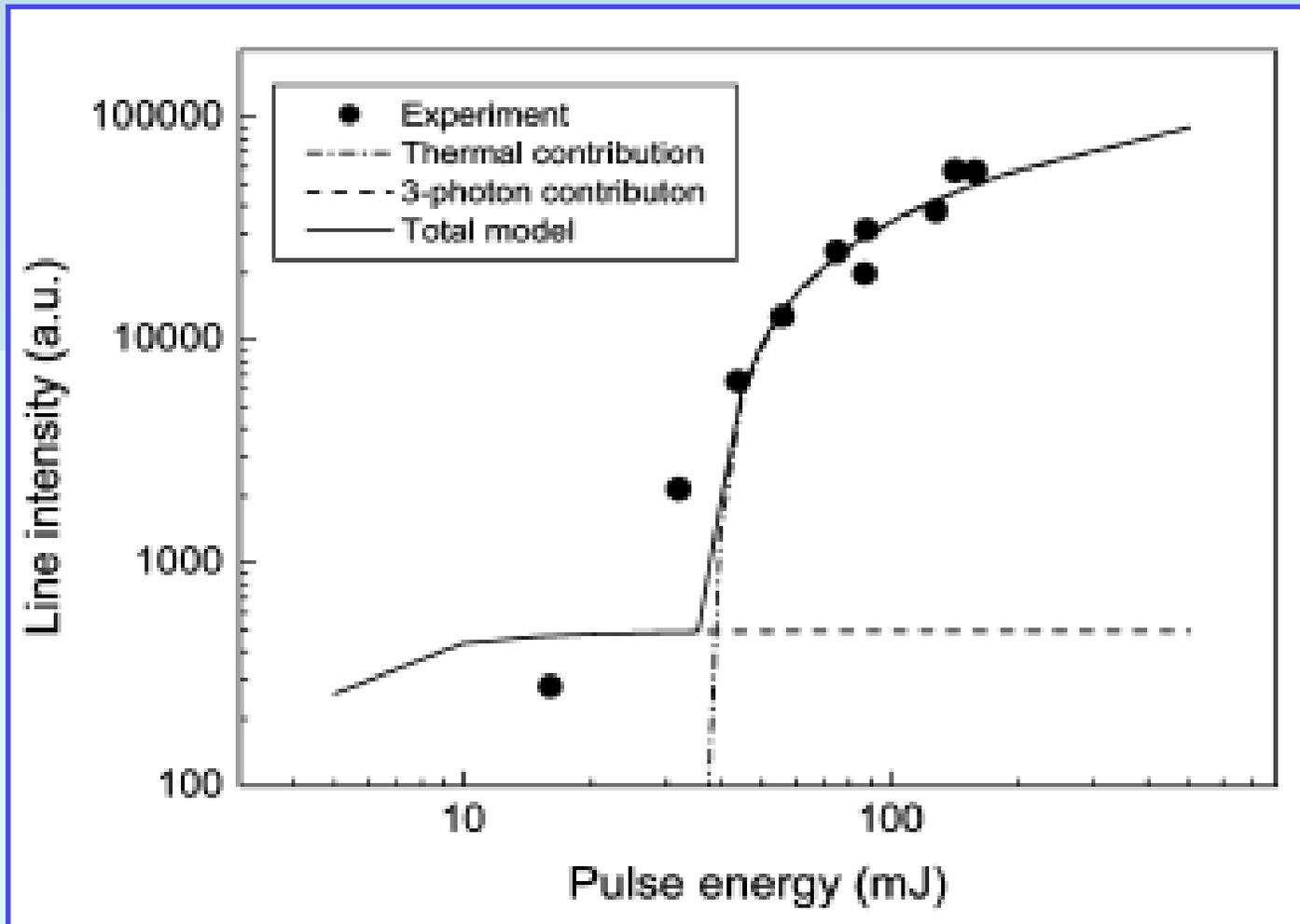
боросиликатного стекла $\sim 1,7$ Дж/см² ;

плавленого кварца $\sim 2 \div 2,5$ Дж/см²

В филаменте:

$I \sim 5 \cdot 10^{13}$ Вт/см², $t \sim 20$ фс =>

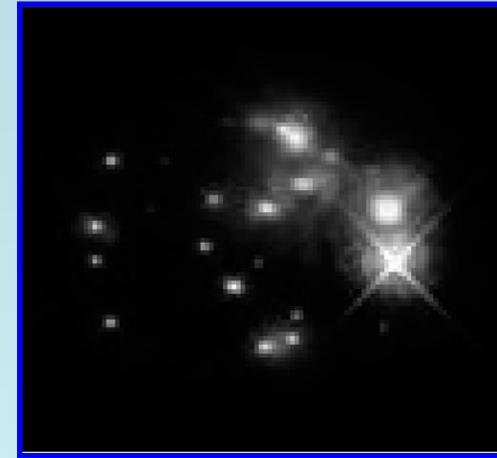
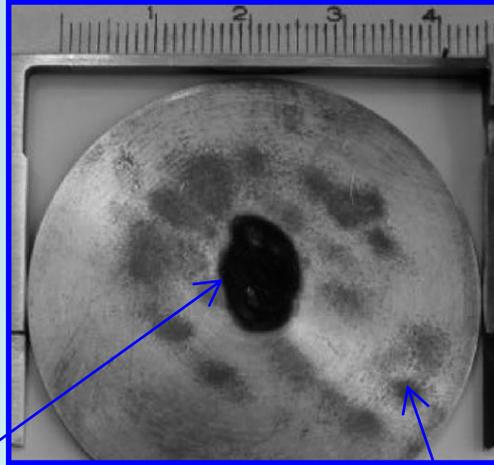
$F \sim 1$ Дж/см² !



Сравнение абляции, вызванной фокусированным пучком и филаментами

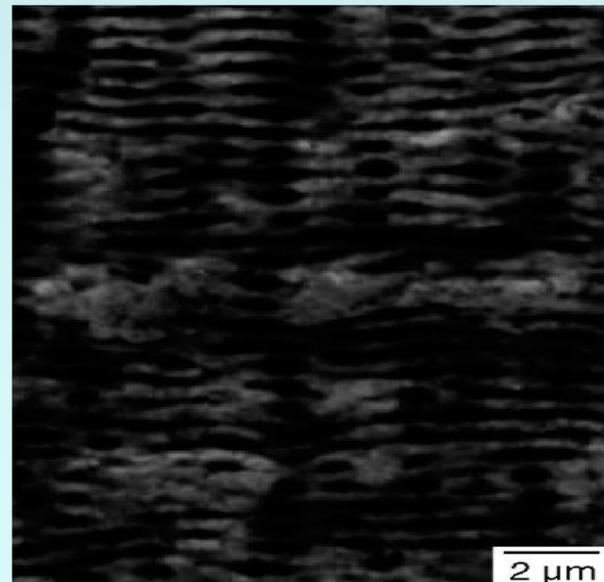
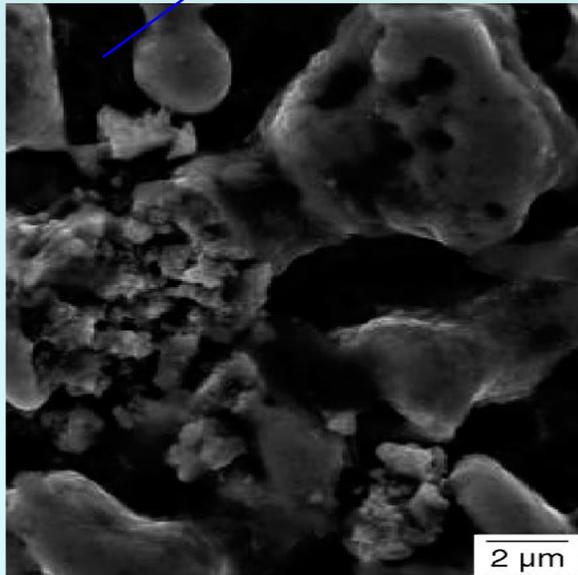
Поверхность медного диска
после абляции :

- фокусированными лазерными импульсами с расстояния 25 м (темное пятно в центре)
- филаментами с расстояния 90 м (серые пятна)

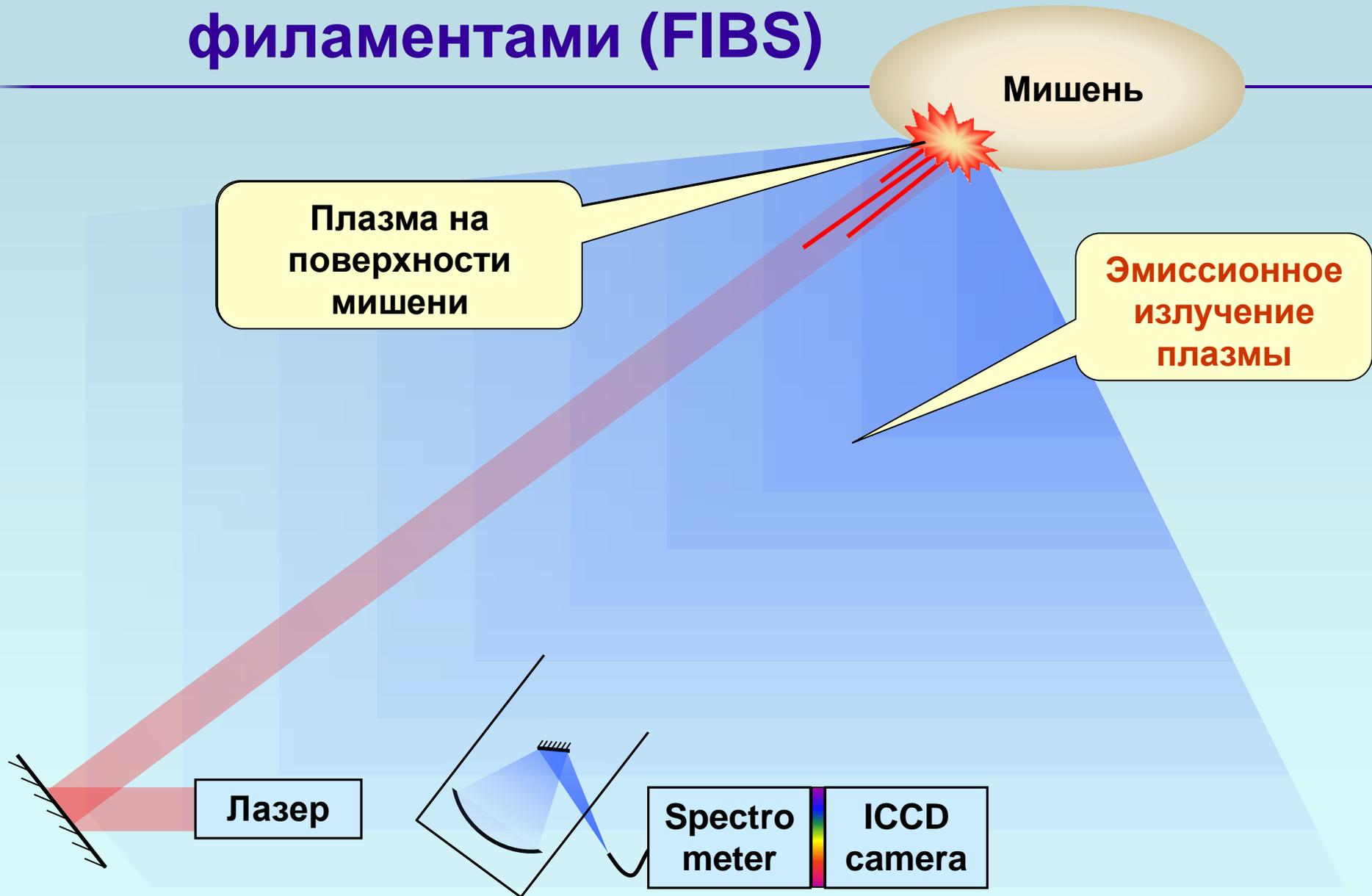


Поперечное сечение импульса с многочисленными филаментами (одиночный импульс).

Диаметр пучка 5 см (350 мДж, 800 нм, 10 Гц).

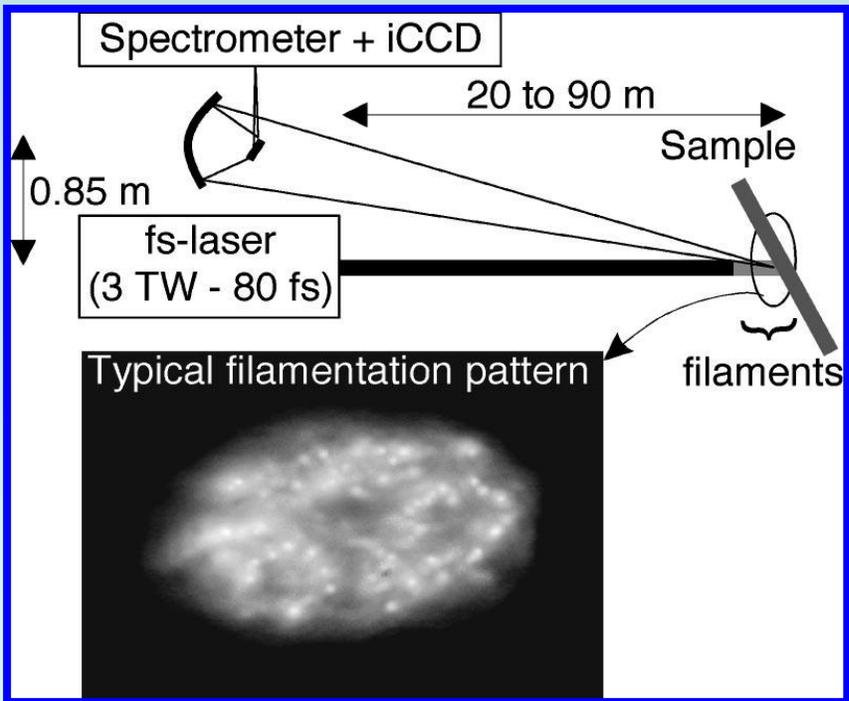


Спектроскопия пробоя, индуцированного филаментами (FIBS)

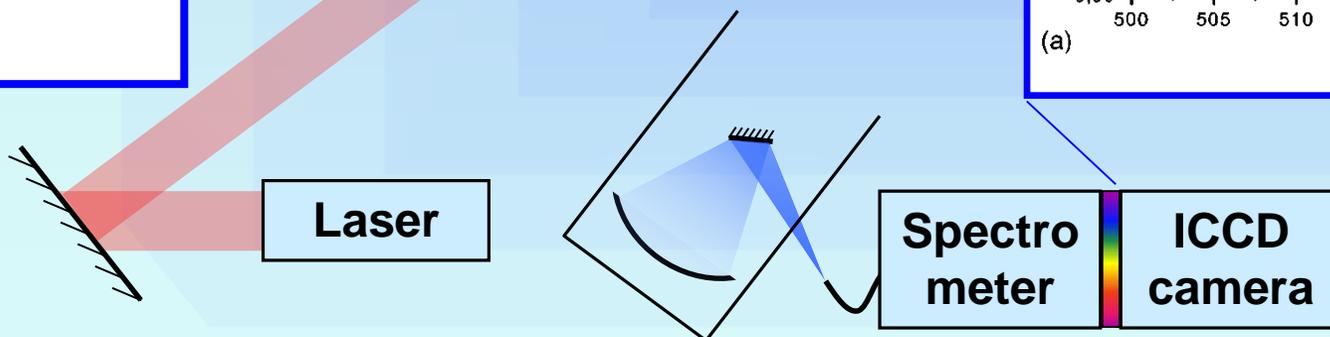
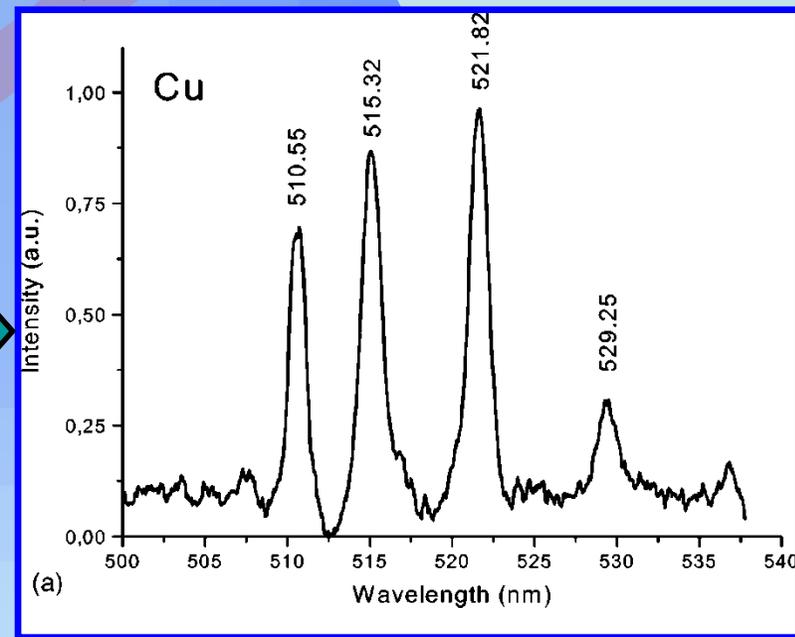


Спектроскопия пробоя, индуцированного филаментами (FIBS)

Эксперименты по регистрации FIBS спектров медной мишени в атмосфере



FIBS-спектр от поверхности медной мишени на расстоянии 90 м. Усреднение по 10000 импульсам.

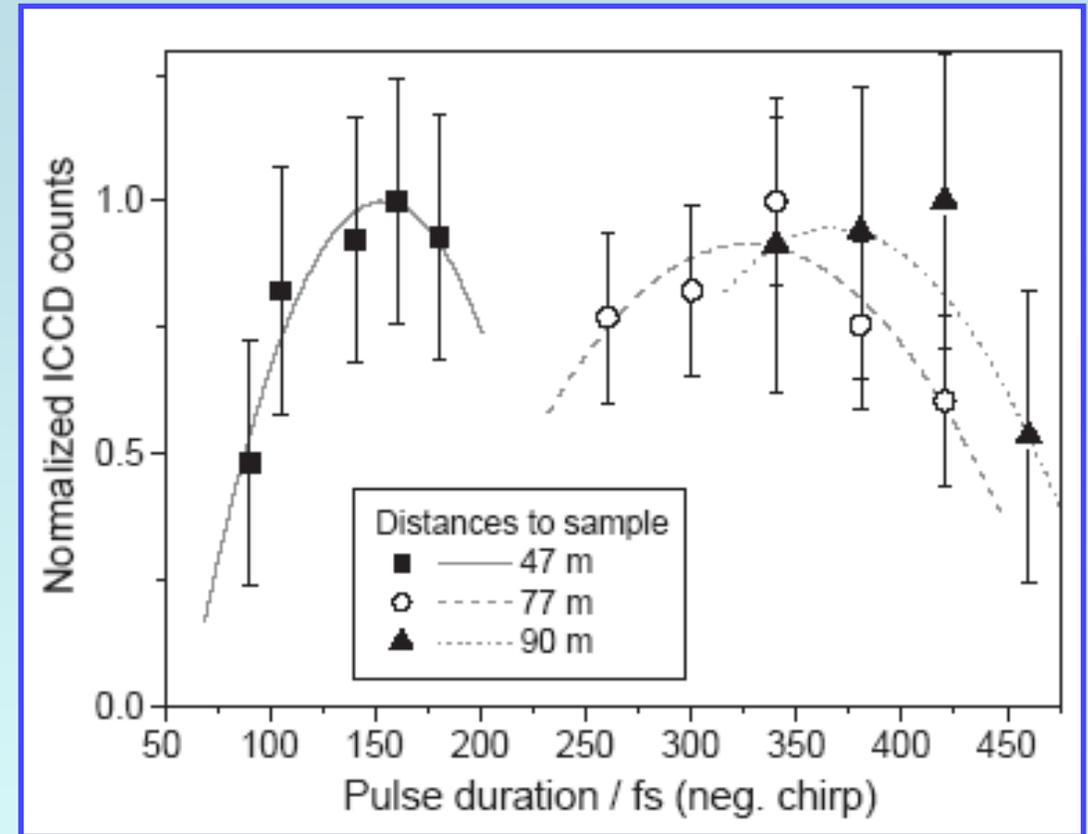
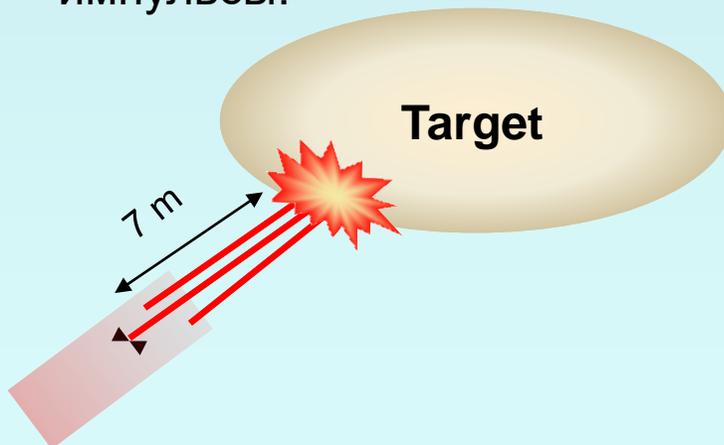


Оптимизация старта филаментации для наилучшего сигнала FIBS

Экспериментальное наблюдение:

Начало филаментации должно быть на расстоянии ~ 7 м от поверхности мишени, чтобы получить наилучший сигнал FIBS.

Для управления филаментацией использовались чирпированные импульсы.



Интенсивность линий меди в зависимости от длительности чирпированного импульса .

Ph. Rohwetter, K. Stelmaszczyk, L. Woste , et. al. // Spectrochimica Acta B, 60, 1025-1033 (2005).