



Измерение пространственного распределения температуры в нестационарных зонах горения методом абсорбционной спектроскопии с диодными лазерами

**М. А. Большов, Ю. А. Курицын, В. В. Лигер,
В. Р. Мироненко**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк Московской области,
Россия*

А.И. Надеждинский , Я.Я. Понуровский

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
Россия*

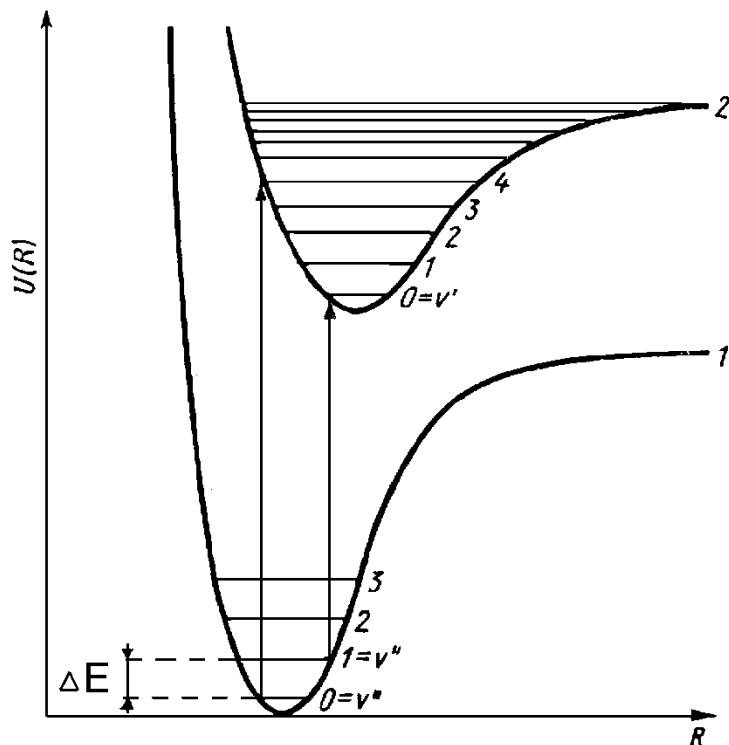
Мотивация

- 1.Изучение эффективности сгорания топлива в сверхзвуковых камерах
- 2.Верификация модельных представлений о процессах горения ,стимулируемых плазменным разрядом
- 3.Экспериментальные данные для оптимизации конструкции плазменного активатора горения

Параметры установки плазменного горения ИАДТ-50 в Институте Высоких Температур РАН

Топливо	H ₂ , ethylene
Скорость потока	M ~ 2 (supersonic flow)
Температура	300-2000 K
Полное давление	100-300 Torr
H ₂ O концентрация	1-10 %
Оптический путь	70 mm
Продолжительность цикла	~500 ms
Продолжительность разряда	~100 ms
Желательное разрешение :	1мсек (временное)
	1-2 мм (пространственное)

Абсорбционные измерения температуры при термодинамическом равновесии



Отношение интегральных коэффициентов поглощения S при данной температуре T

$$R = \frac{S_1(T)}{S_2(T)} = A \exp(-hc\Delta E / kT)$$

A - определяется спектроскопическими параметрами переходов, ΔE - разность энергий нижних уровней переходов

Выбор рабочего диапазона лазера

Критерии:

- доступные коммерческие лазеры;
- значительные вариации интенсивности линий с температурой;
- разумная мощность излучения (≥ 10 мВт);
- несколько подходящих линий в диапазоне быстрой перестройки
ДЛ $\sim 1 \text{ см}^{-1}$;
- минимальное наложение линий

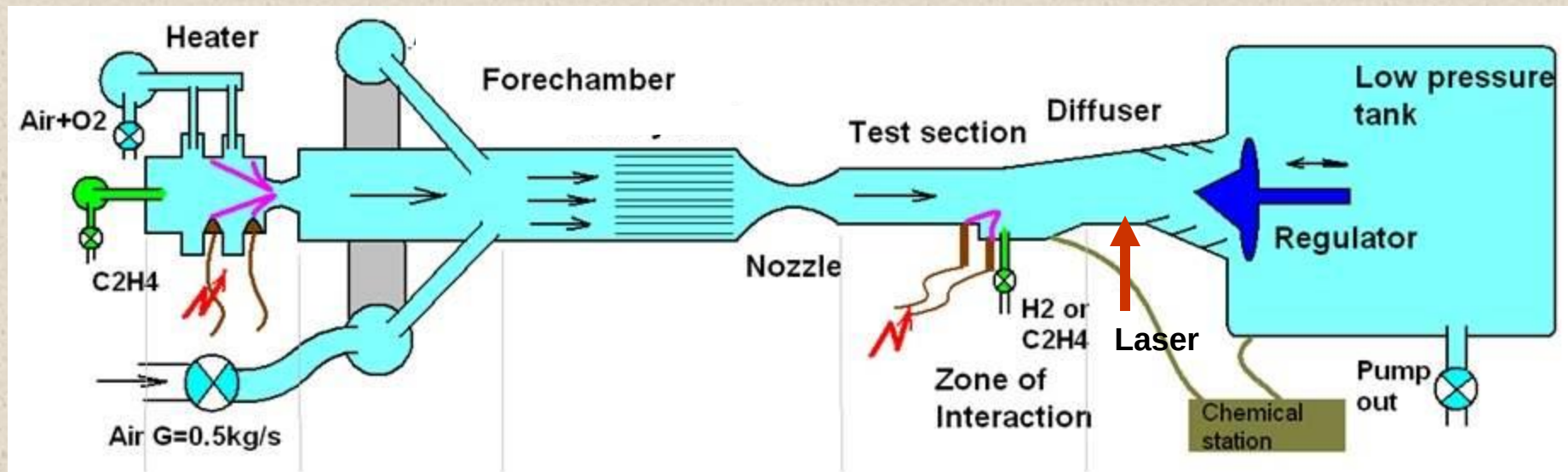
1.39 мкм DFB лазер фирмы NEL

T = 296 K

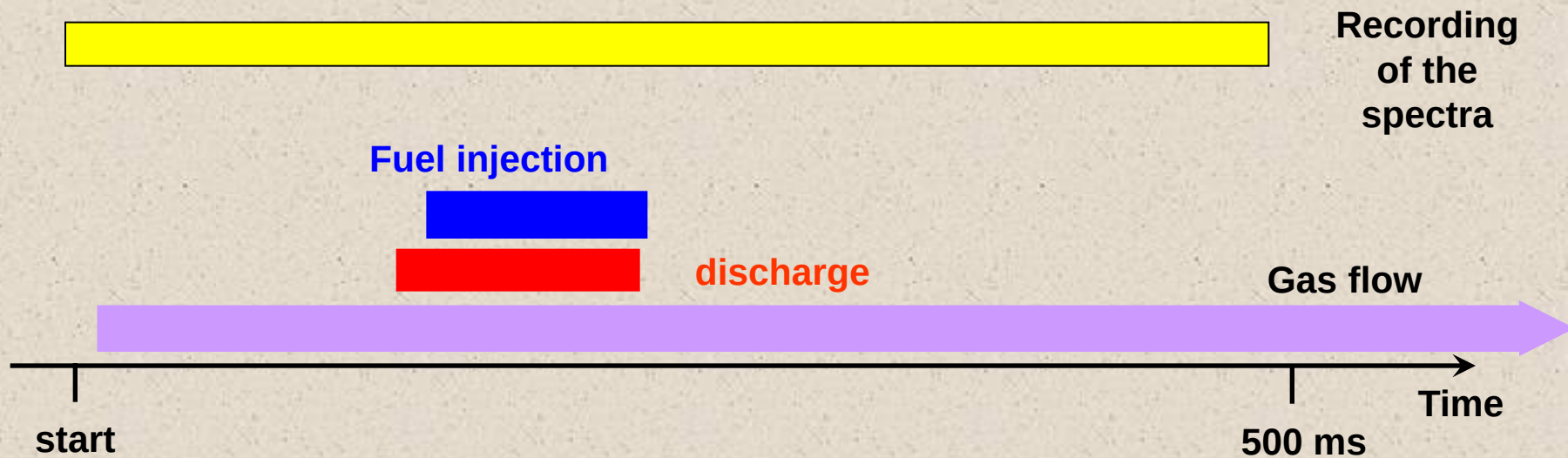
ν	S(cm/mol)	γ (air)	γ (H ₂ O)	E _{low}	No.
7189.34444	6.213E-22	0.1001	0.49	142.2785	1
7189.54142	1.069E-22	0.0549	0.33	1255.1667	2
7189.71473	2.037E-24	0.0767	0.34	2004.8157	3

T = 1000 K

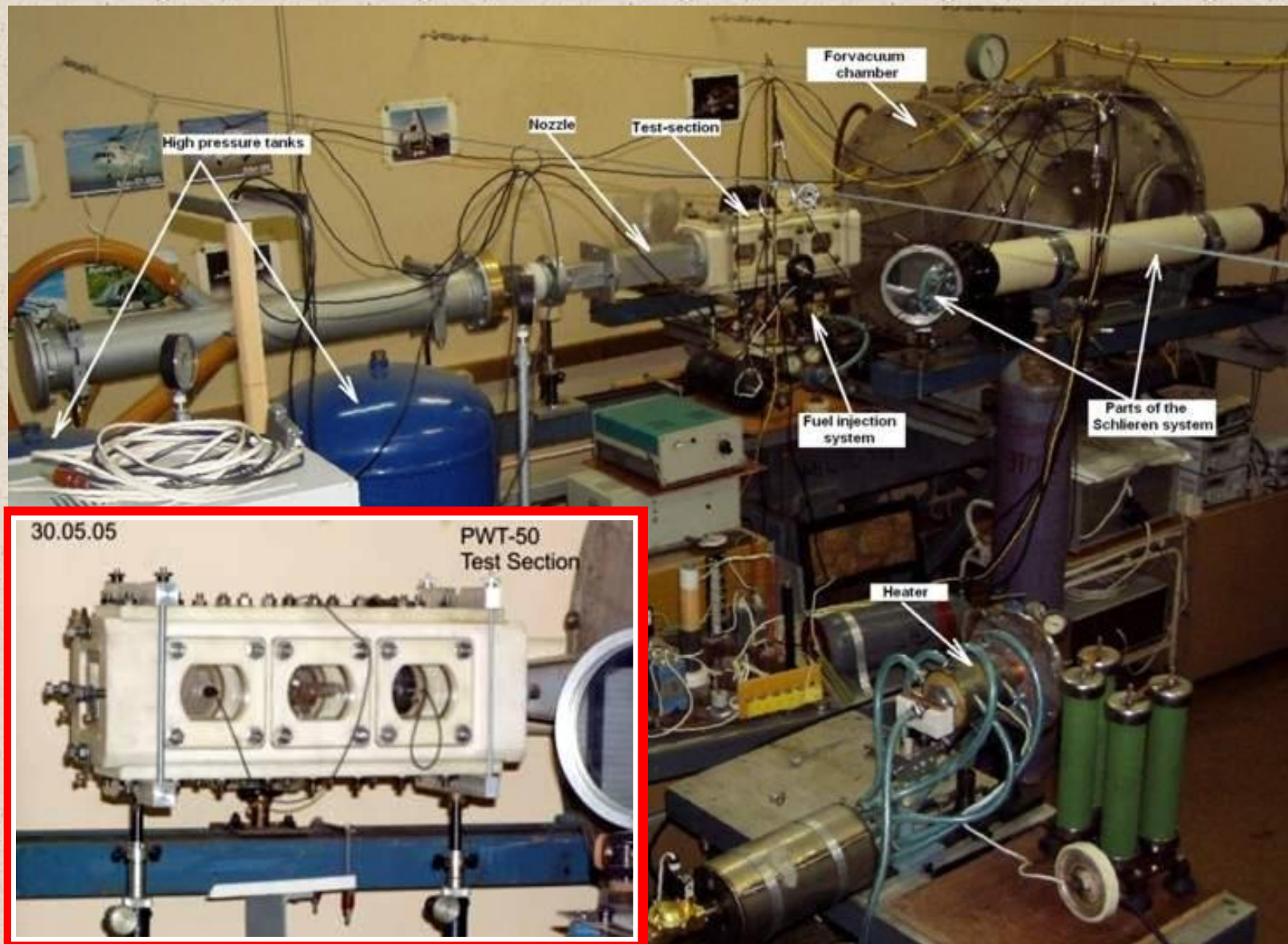
7189.34444	1.449E-22	0.0392	0.1919	142.2785	1
7189.54142	1.124E-21	0.0288	0.1731	1255.1667	2
7189.71473	2.785E-22	0.0315	0.1398	2004.8157	3

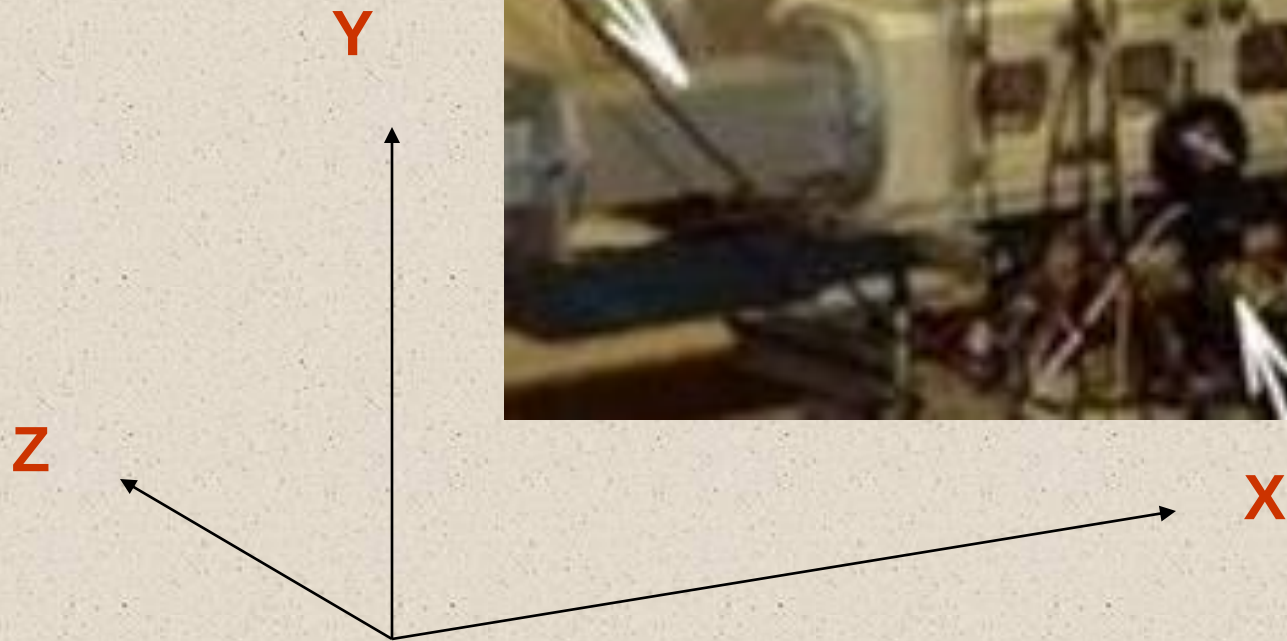


Time scale of a run



Общий вид экспериментальной установки сверхзвукового горения в Лаборатории Экспериментальной плазменной аэродинамики ИВТАН

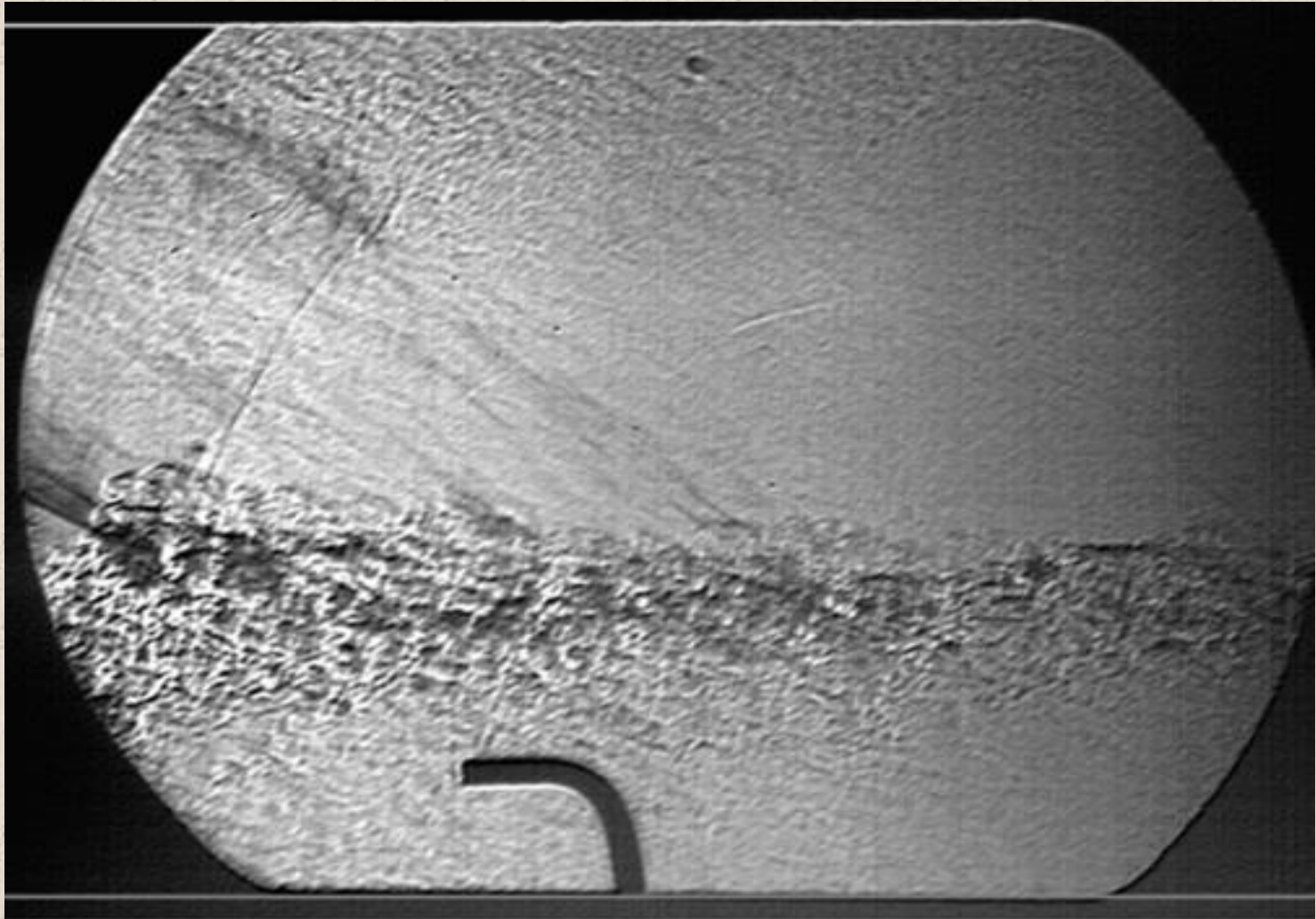


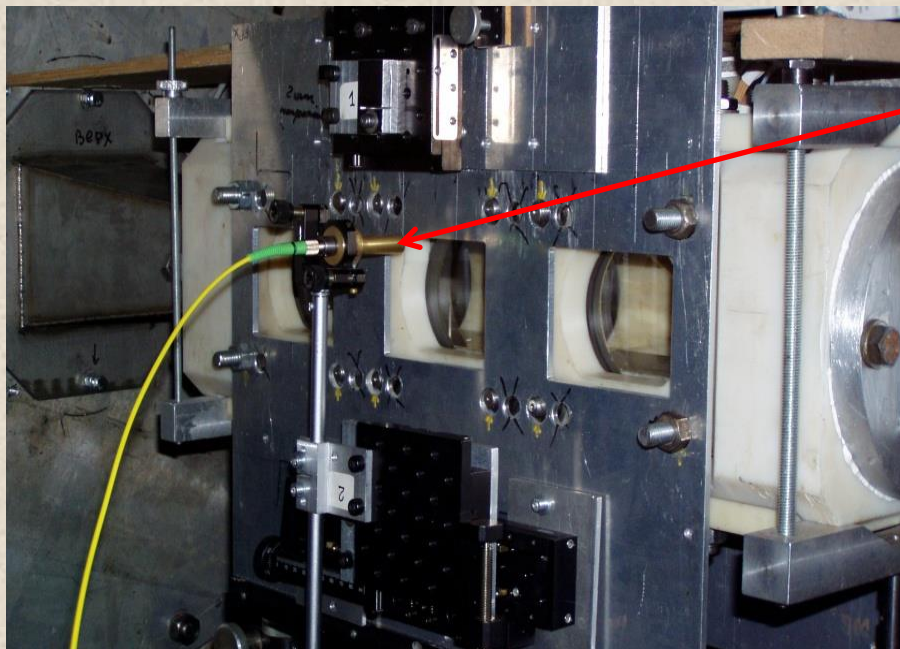


Проблемы и ограничения

1. Интенсивная широкополосная эмиссия плазменного источника
2. Высокий уровень электромагнитных помех
3. Значительный вклад в аналитический сигнал поглощения атмосферной воды вне камеры сгорания
4. Сильные вибрации установки и турбулентные потоки в струе

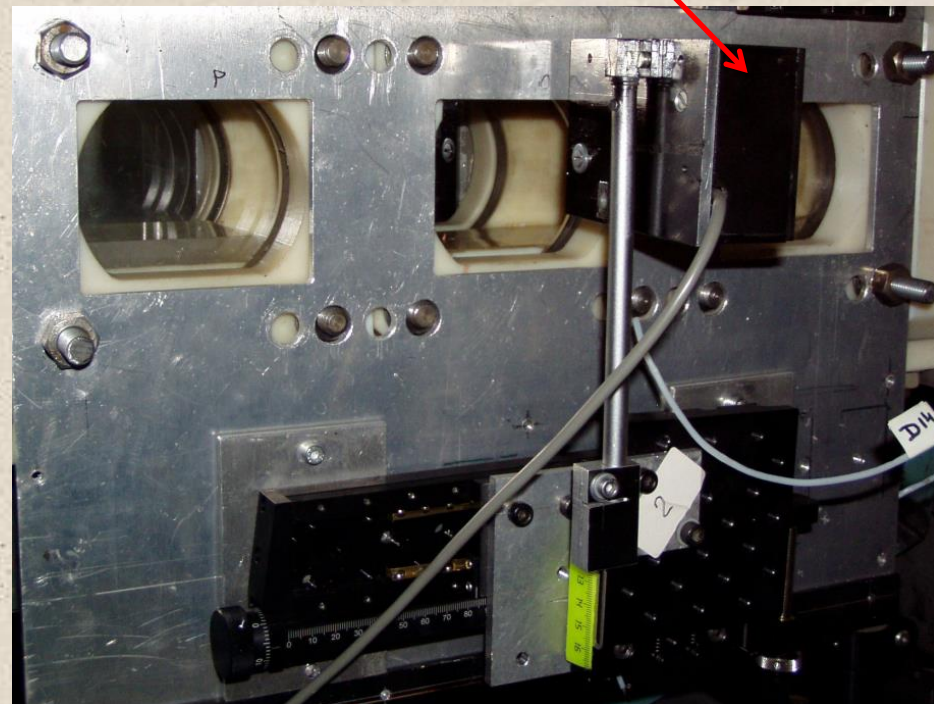
Теневая фотография турбулентной сверхзвуковой струи вблизи электродов



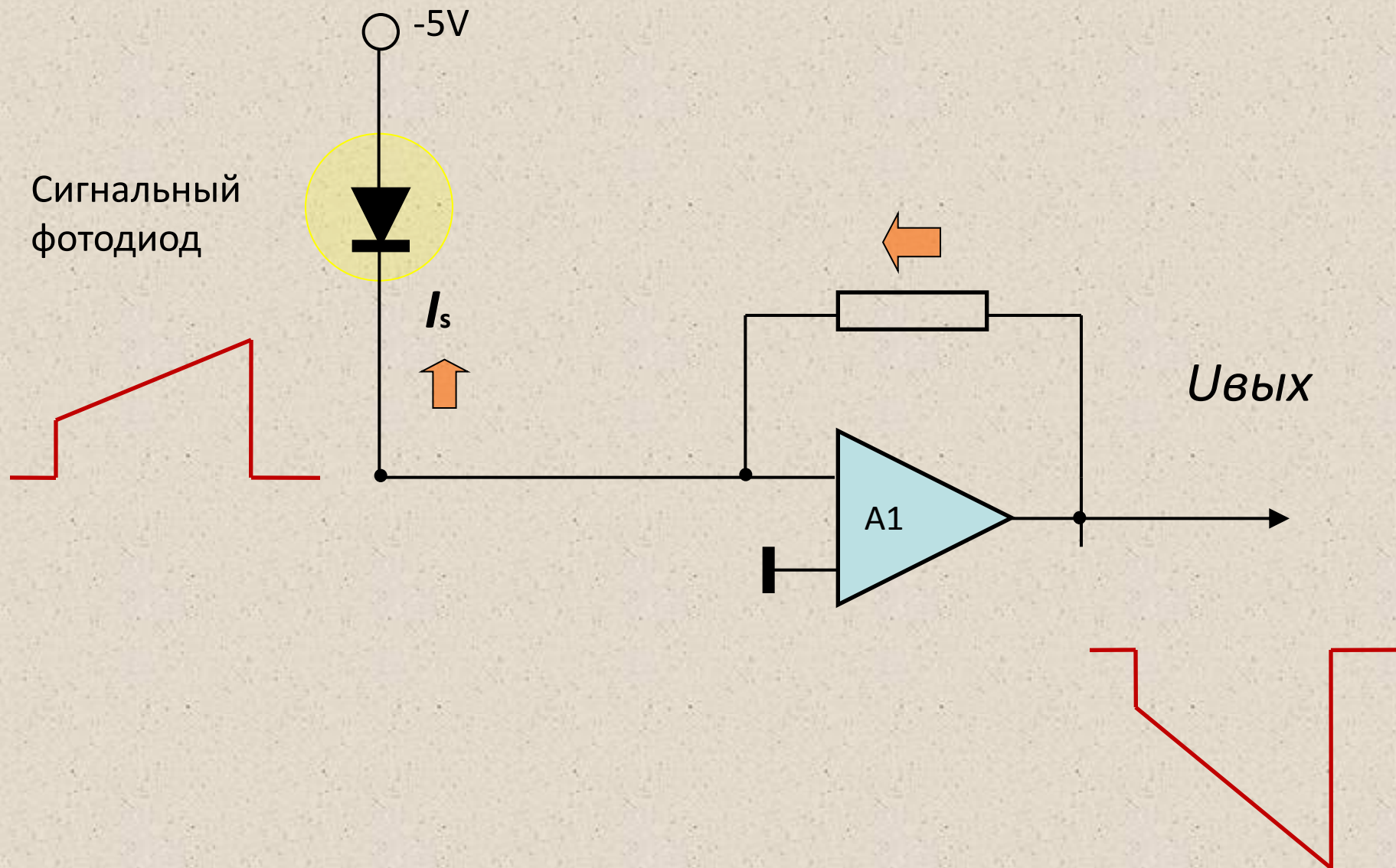


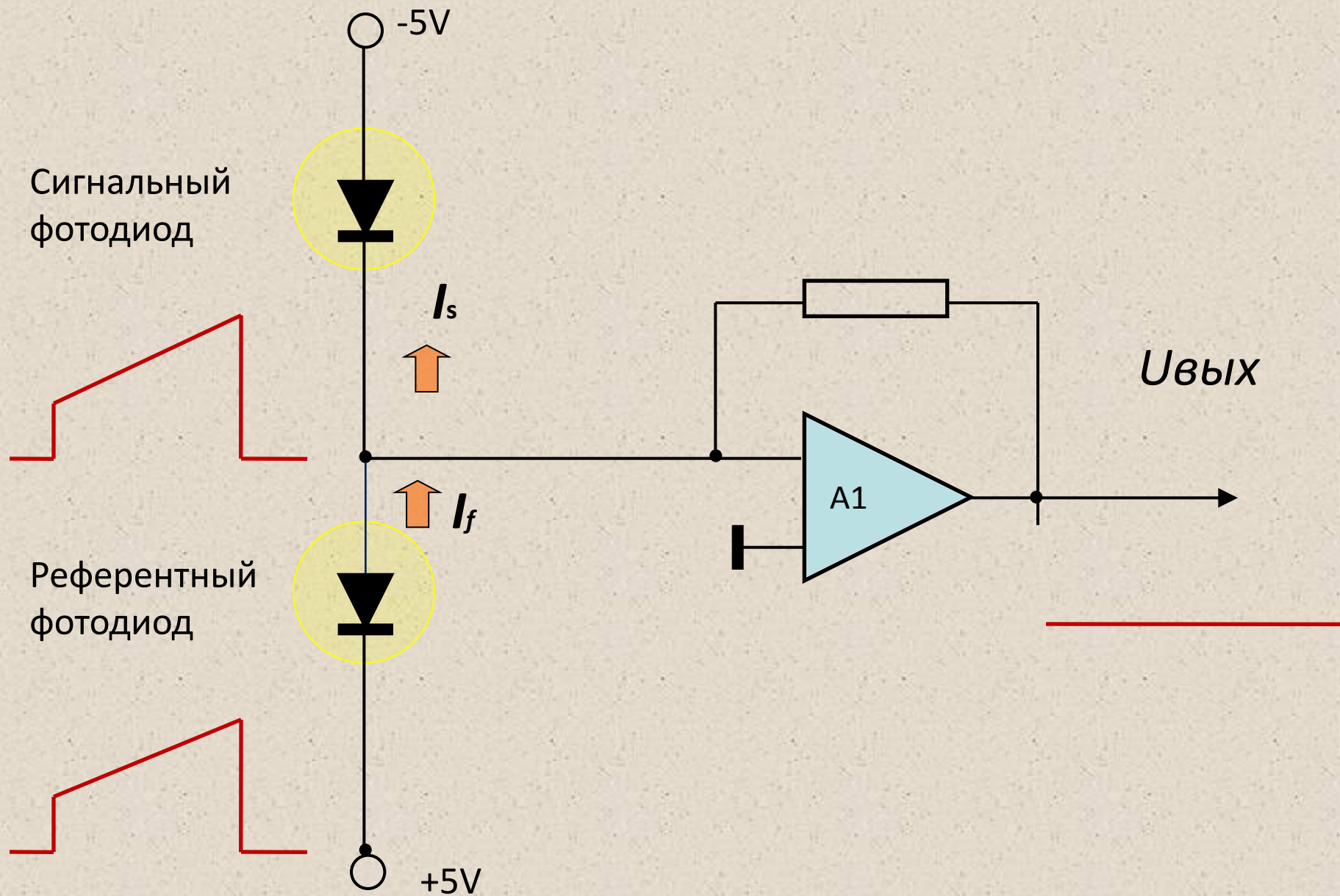
Laser output
collimator

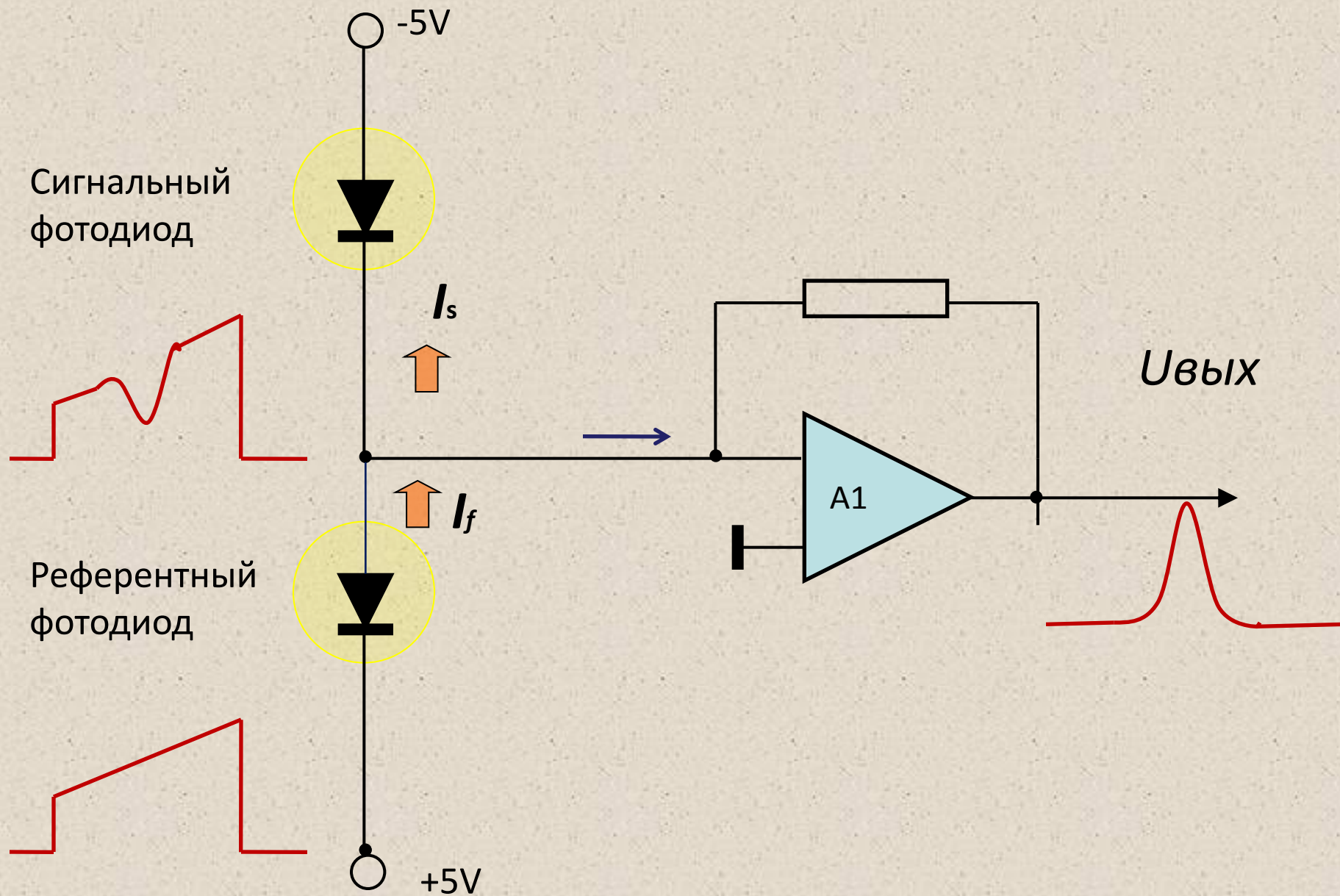
Mirrors set
& photodiode

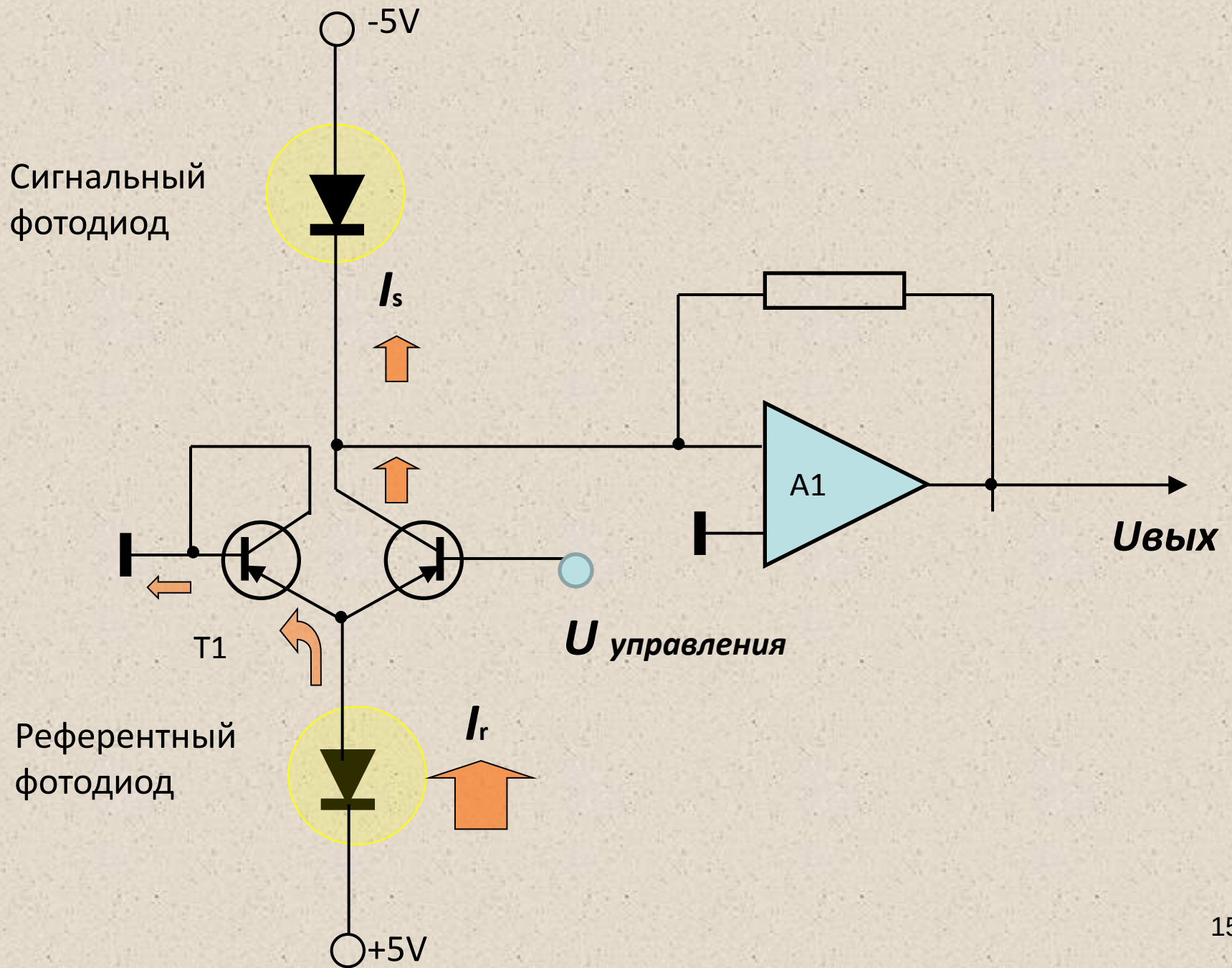


**Съемные панели с
прецизионными
двухкоординатными
манипуляторами**



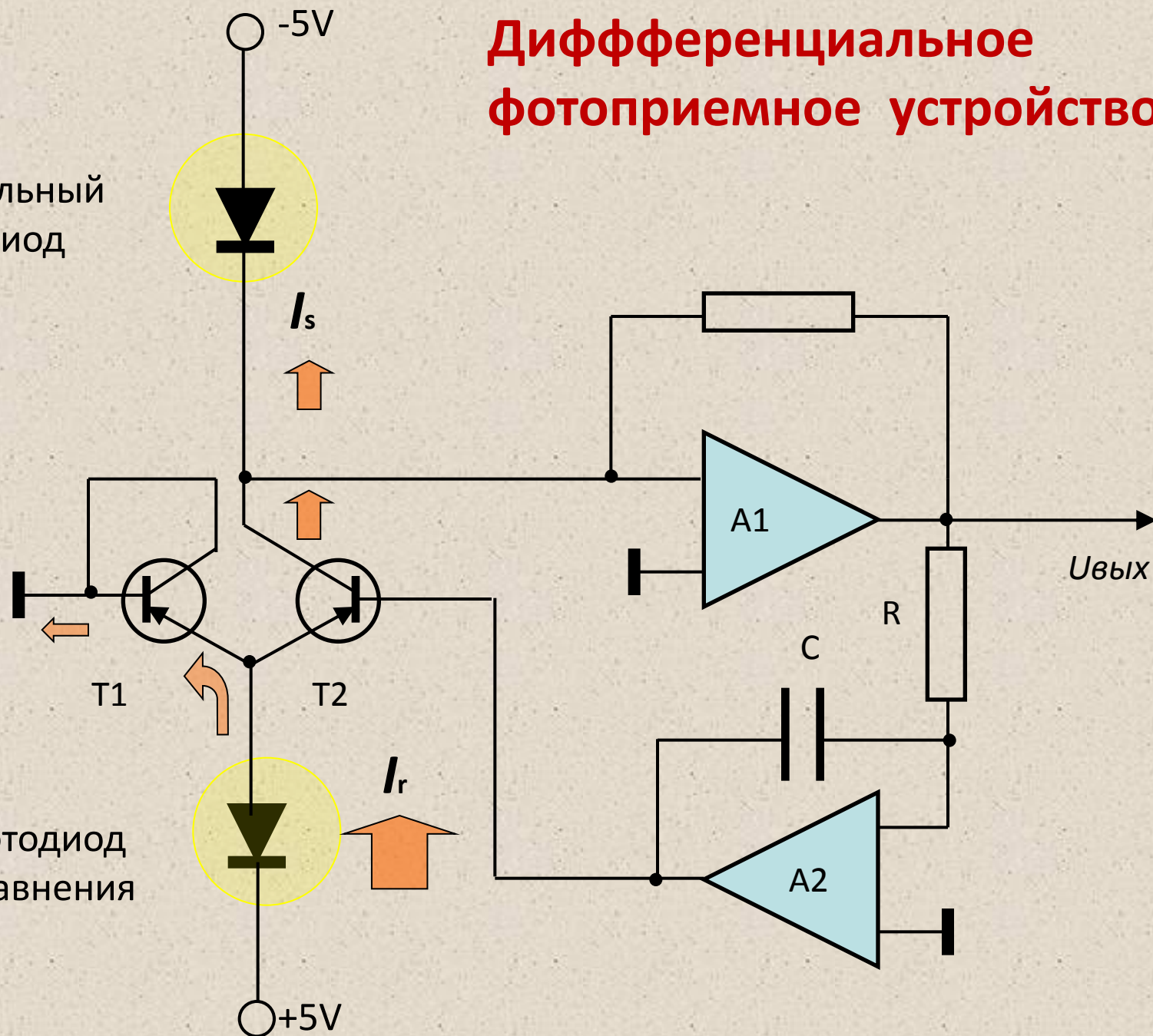




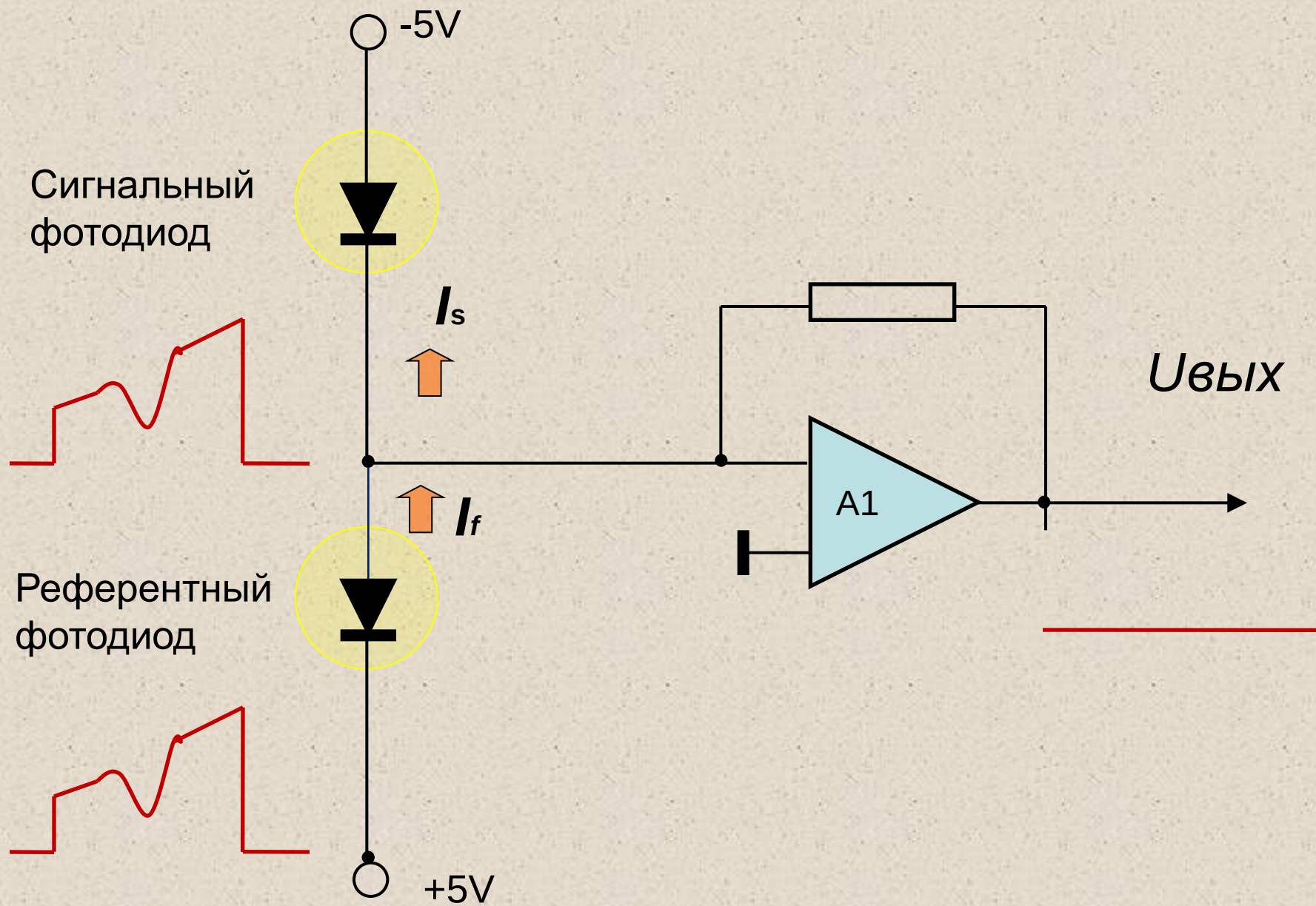


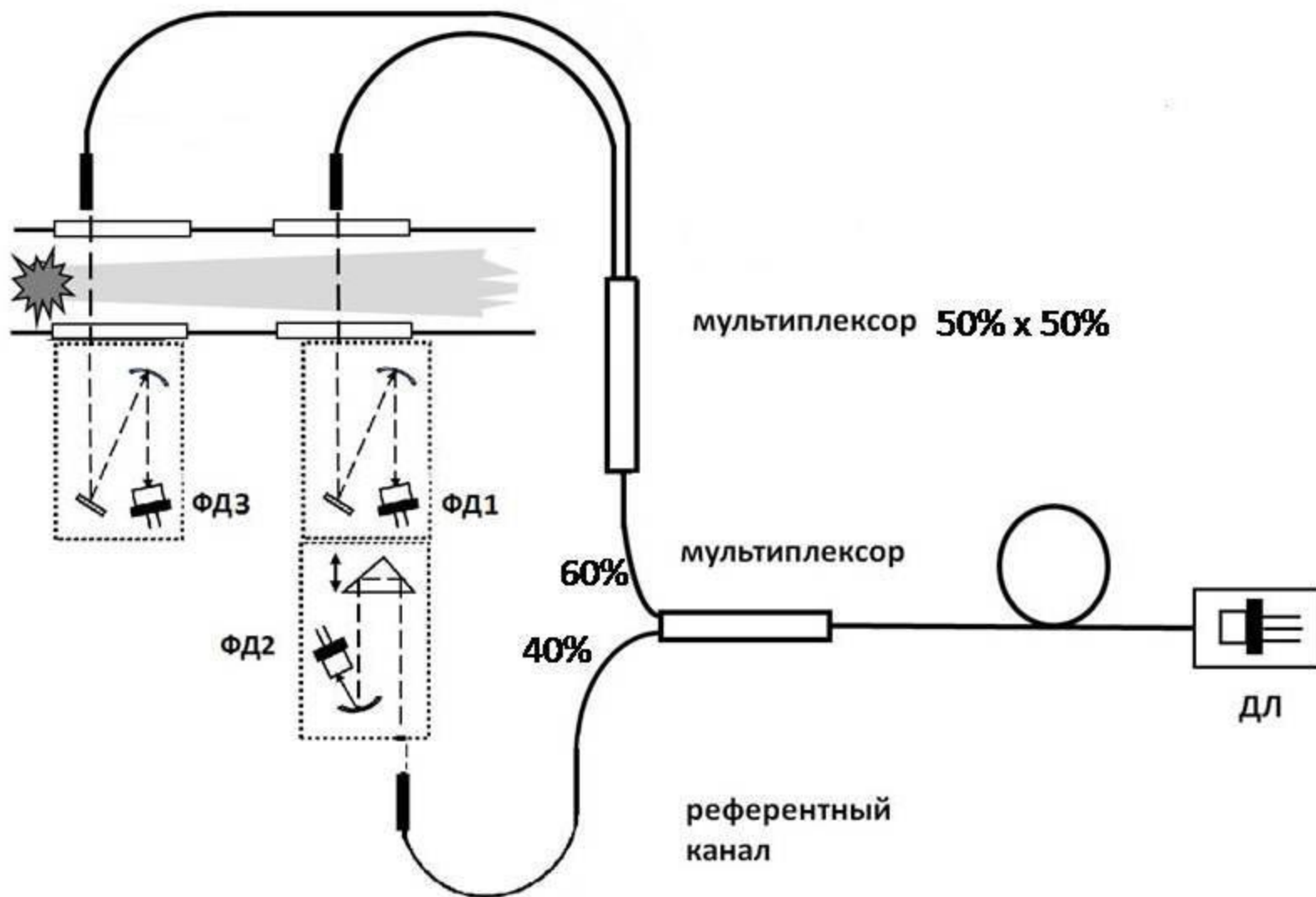
Дифференциальное фотоприемное устройство

Сигнальный
фотодиод

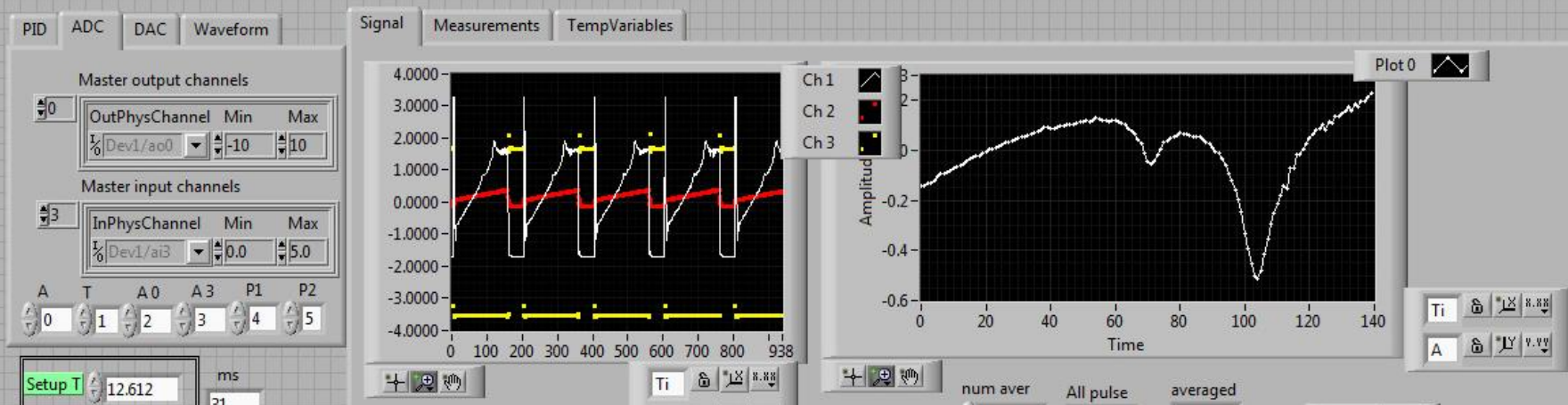


Фотодиод
сравнения

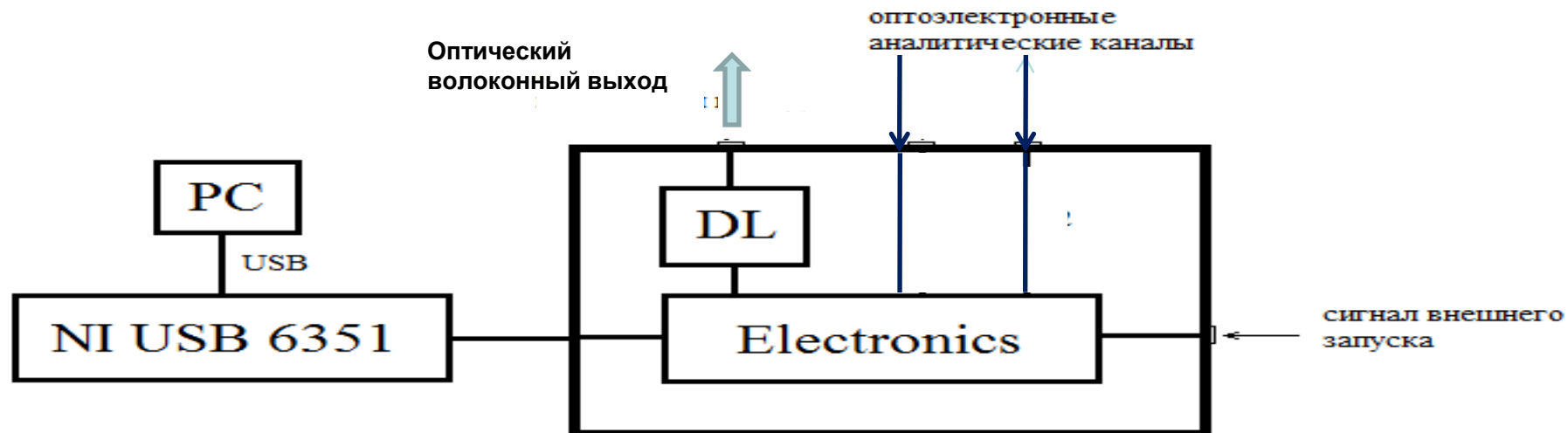




Фрагмент пользовательского интерфейса

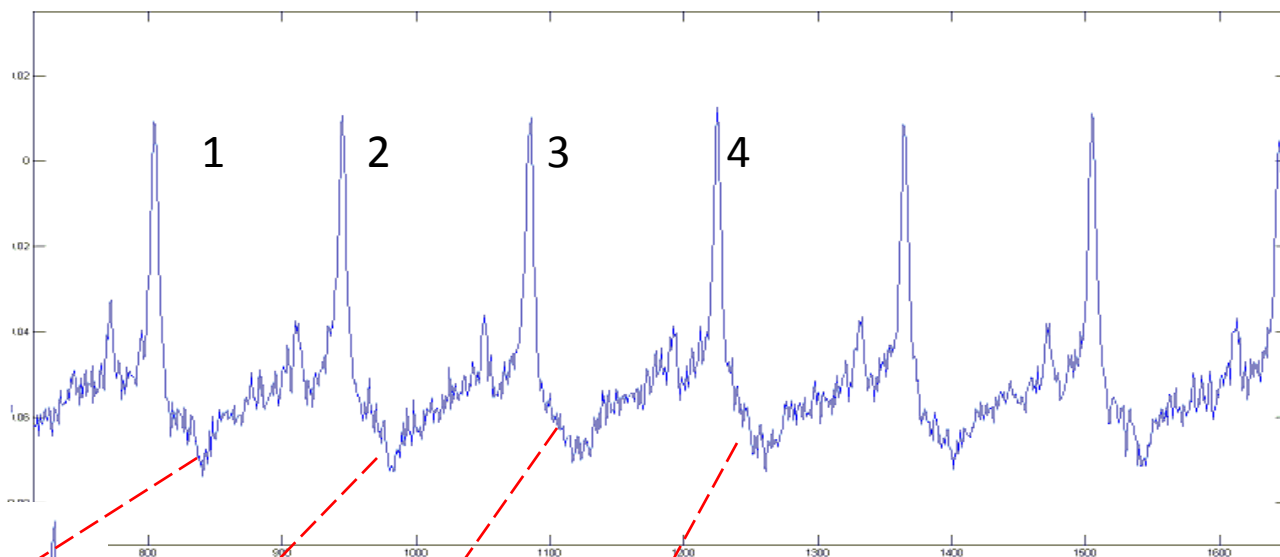


Блок-схема системы управления и сбора информации

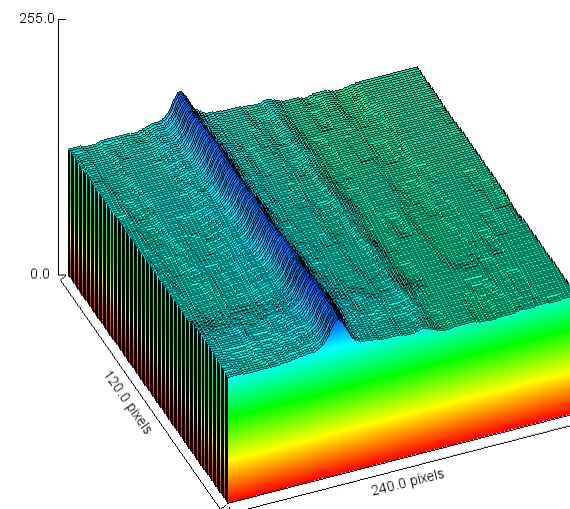


ФРАГМЕНТ ОСЦИЛЛОГРАММЫ

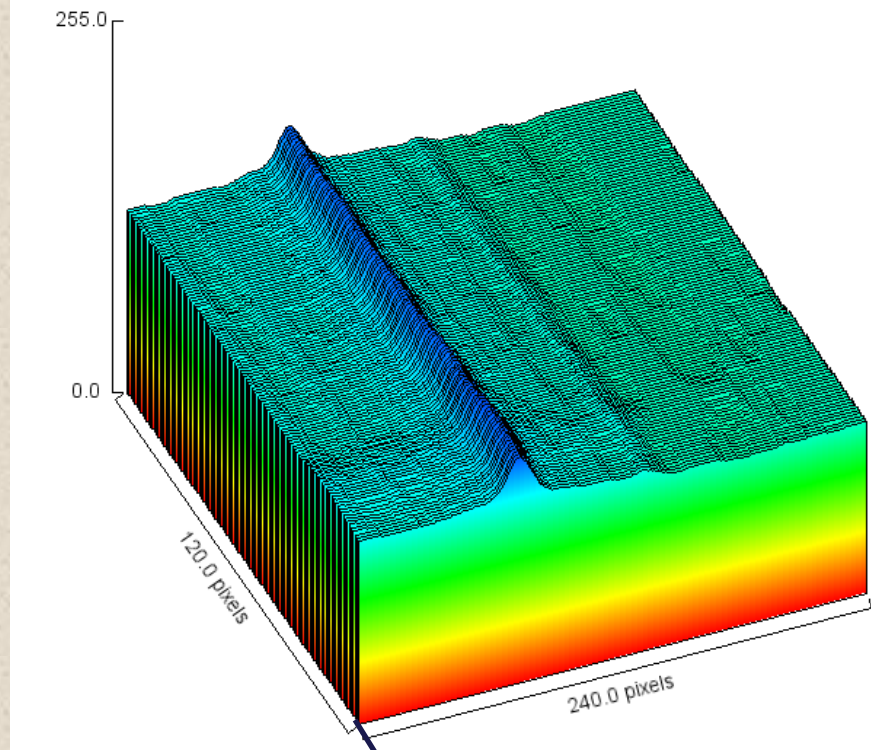
АМПЛИТУДА



НОМЕР
СКАНА
(ВРЕМЯ)

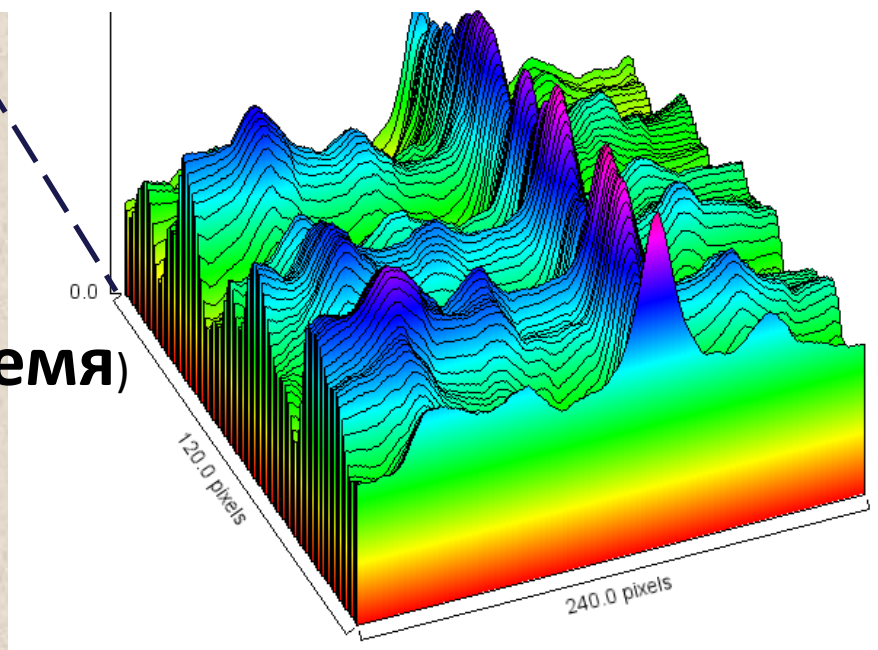


ImageJ визуализация

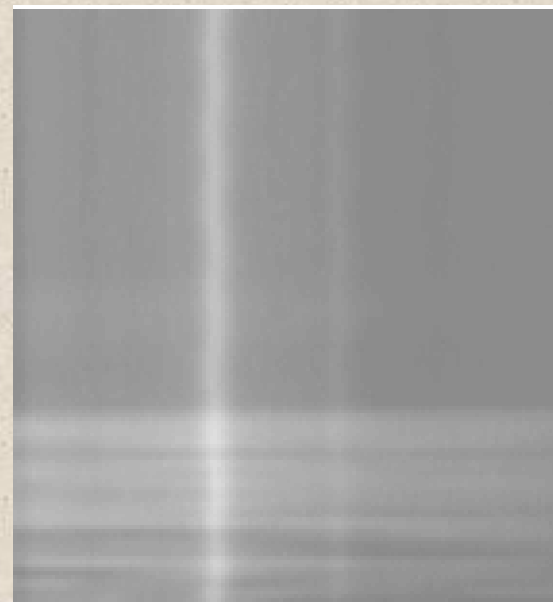
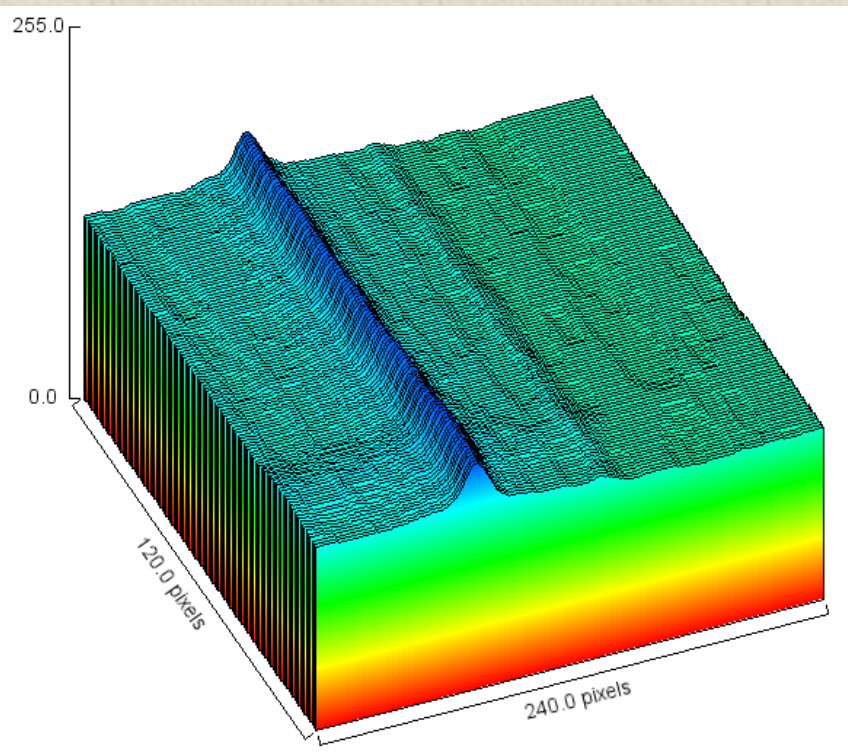


**Фрагменты отдельных
этапов процесса**

**Номер
скана
(время)**



3D или 2D визуализация процесса



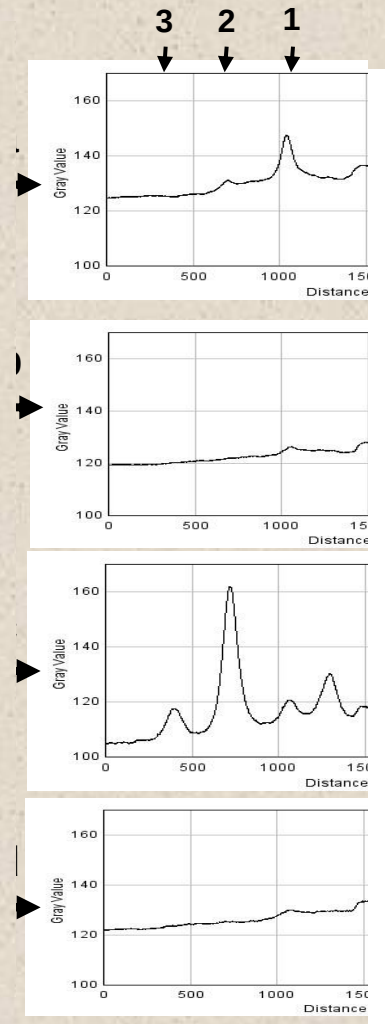
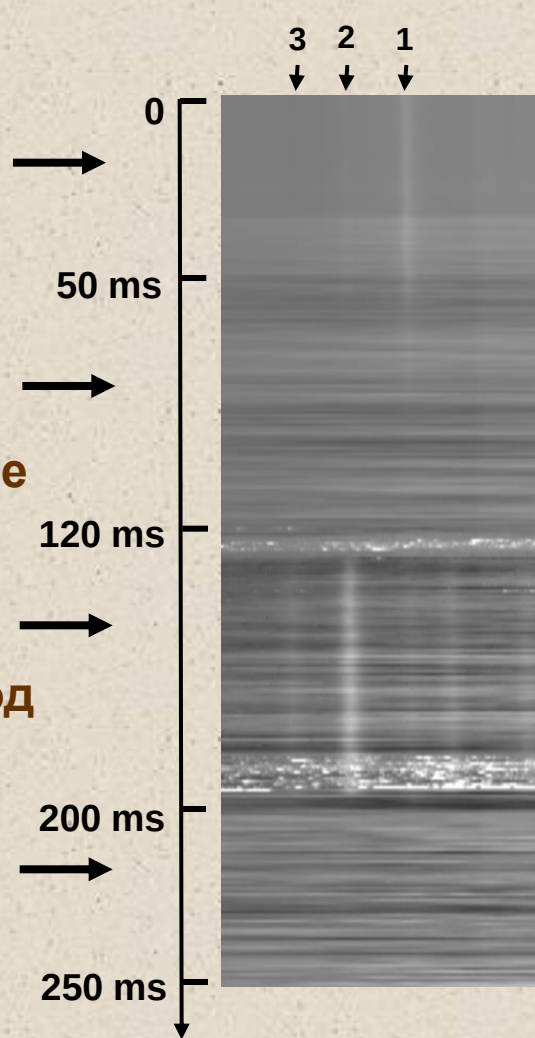
2D-образ динамических спектров и интегральные контуры линий

Комнатная Т

сверхзвуковой
поток,
вымораживание
паров воды

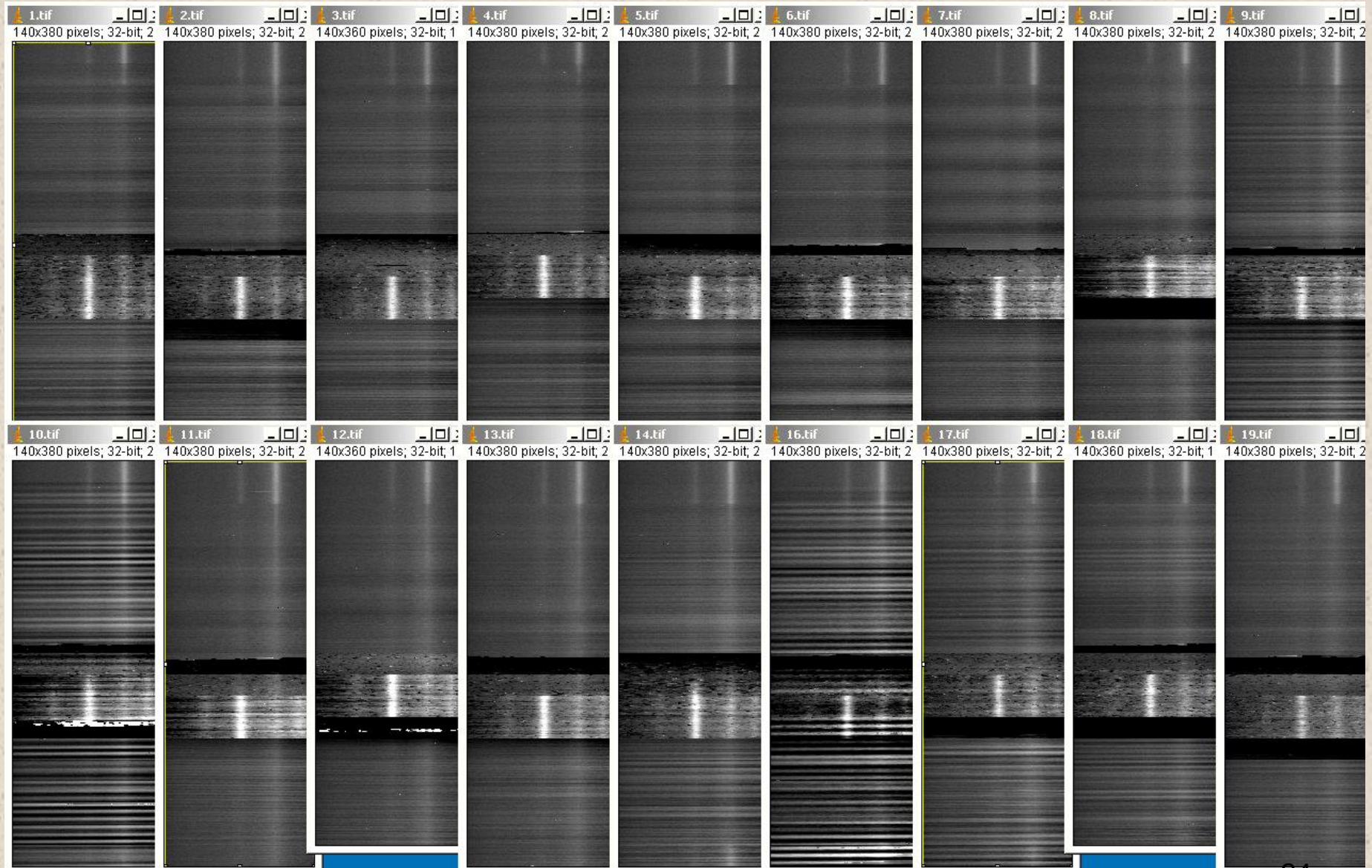
горение смеси
воздух/водород
Т ~ 1000K

горение
закончилось,
сверхзвуковой
поток

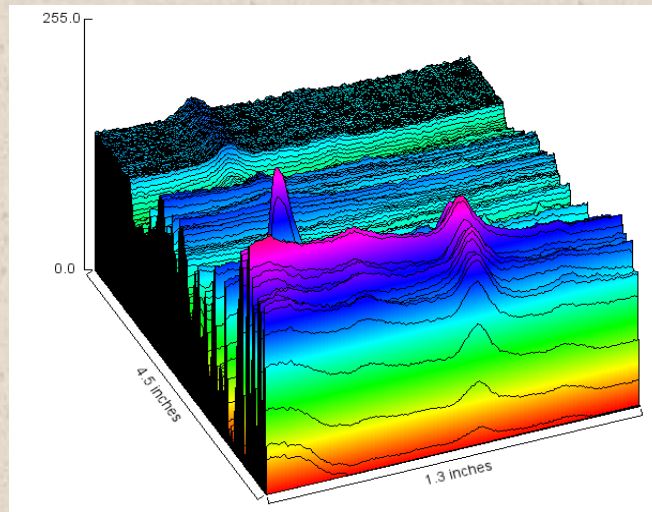
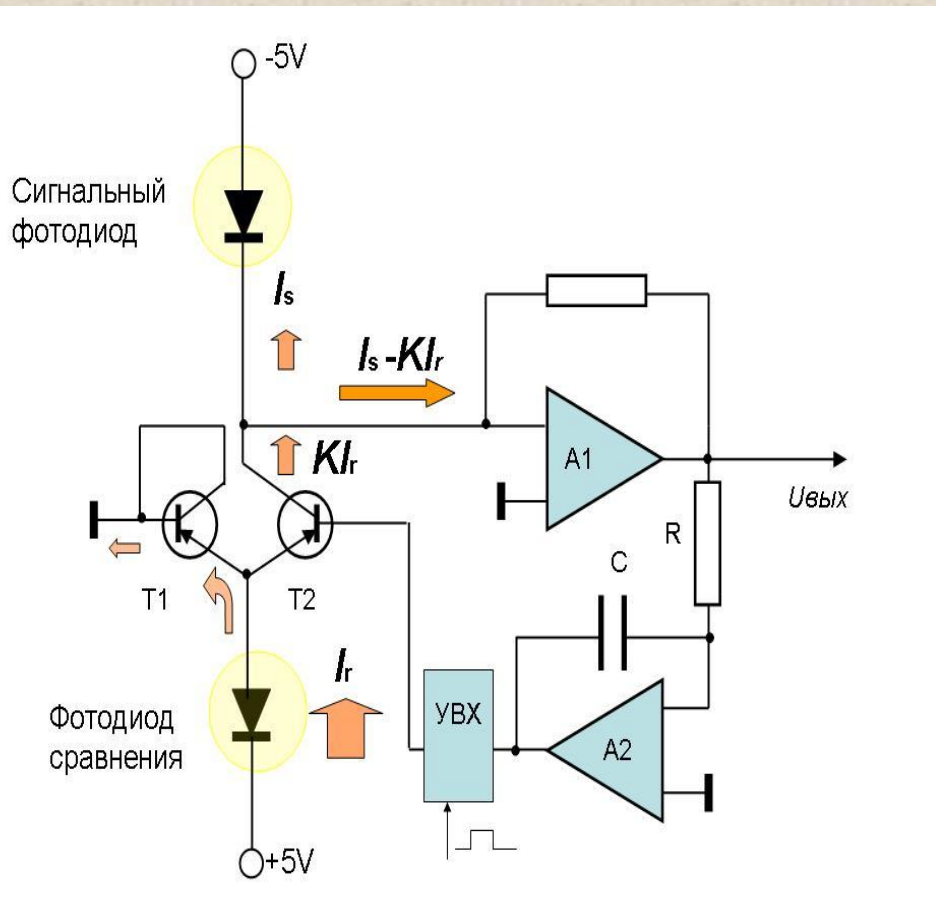


(1) – 7189.344 cm^{-1} , (2) – 7189.541 cm^{-1} , (3) – 7189.715 cm^{-1} .

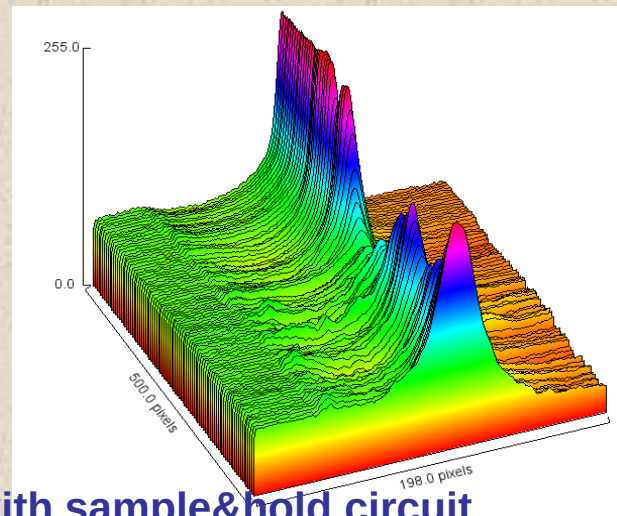
DLAS Measurements on H₂O Molecule in Experiments on Plasma Assisted Ethylene Combustion on the Plane Wall in Supersonic Flow 30.05.2012



Аппаратная коррекция базовой линии

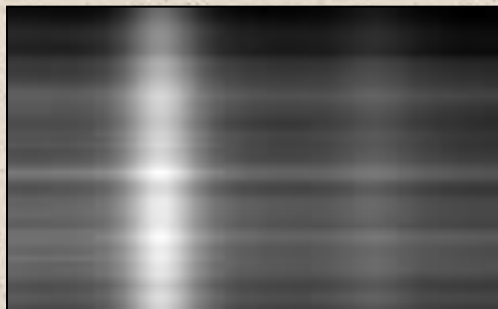


without sample&hold circuit

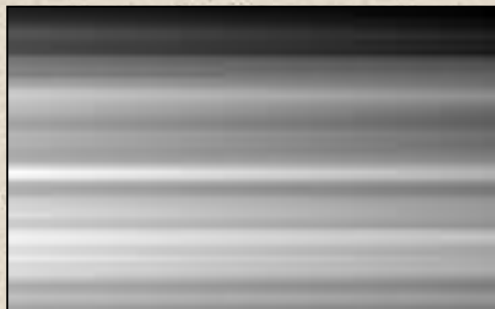


with sample&hold circuit

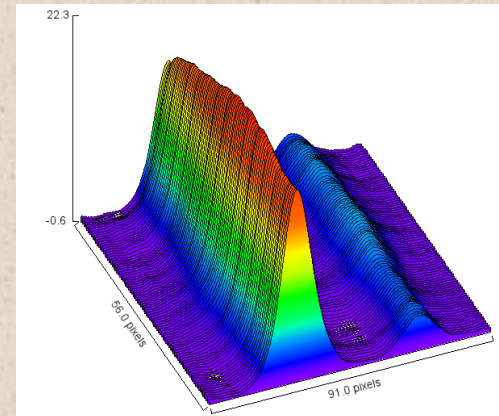
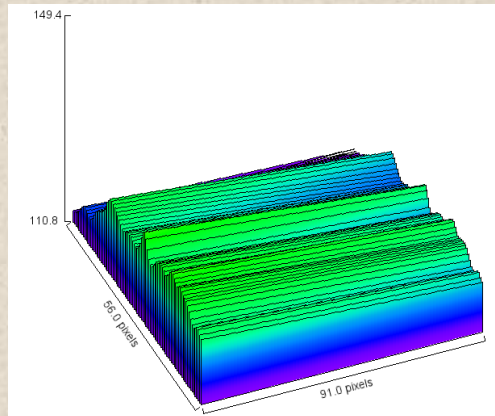
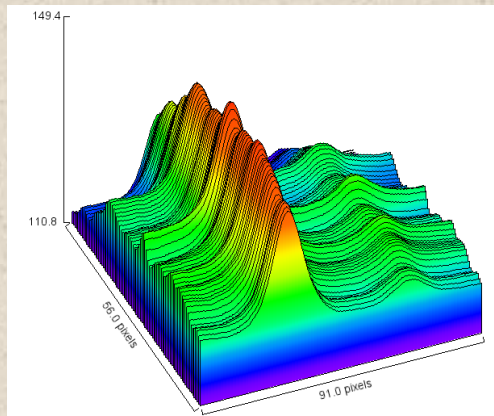
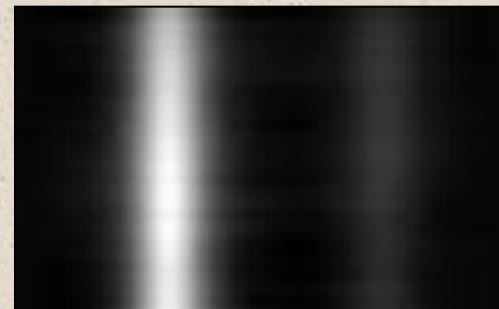
Программная коррекция базовой линии



-



=



Моделирование спектров поглощения для различных температур

1

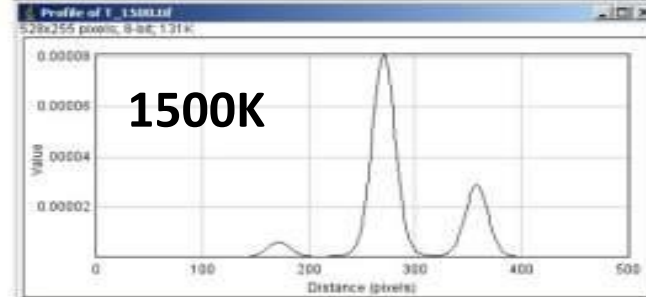
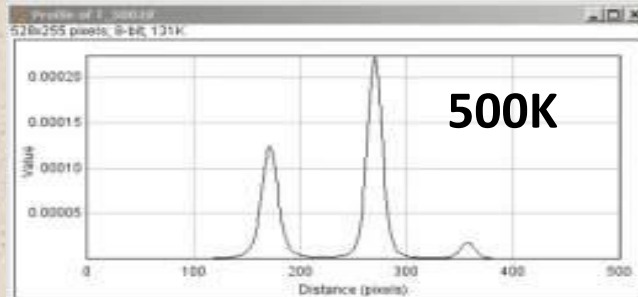
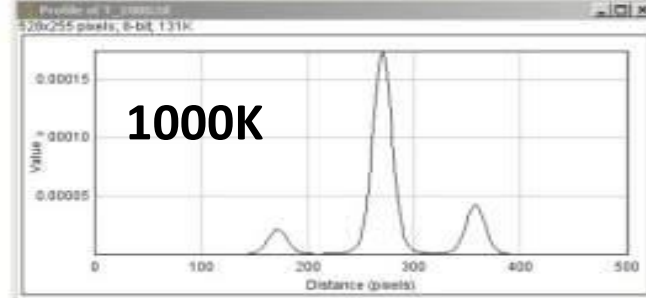
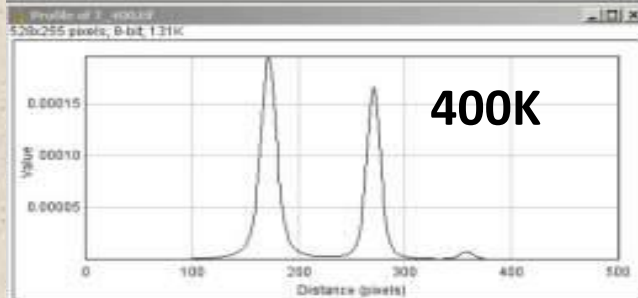
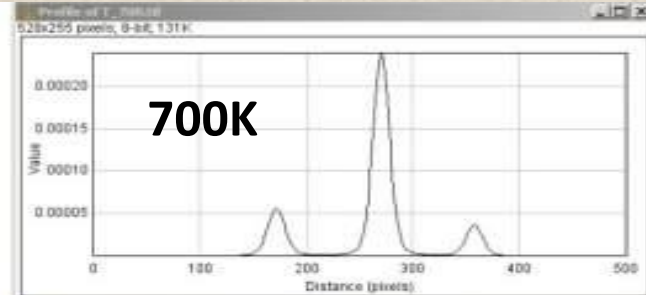
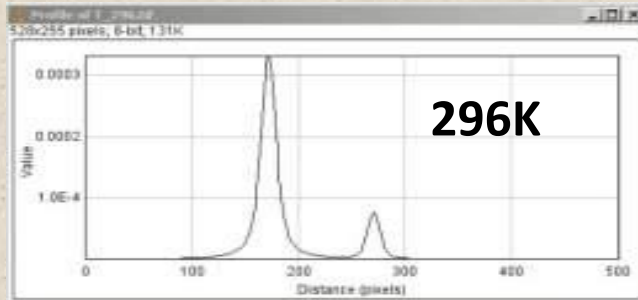
2

3

c

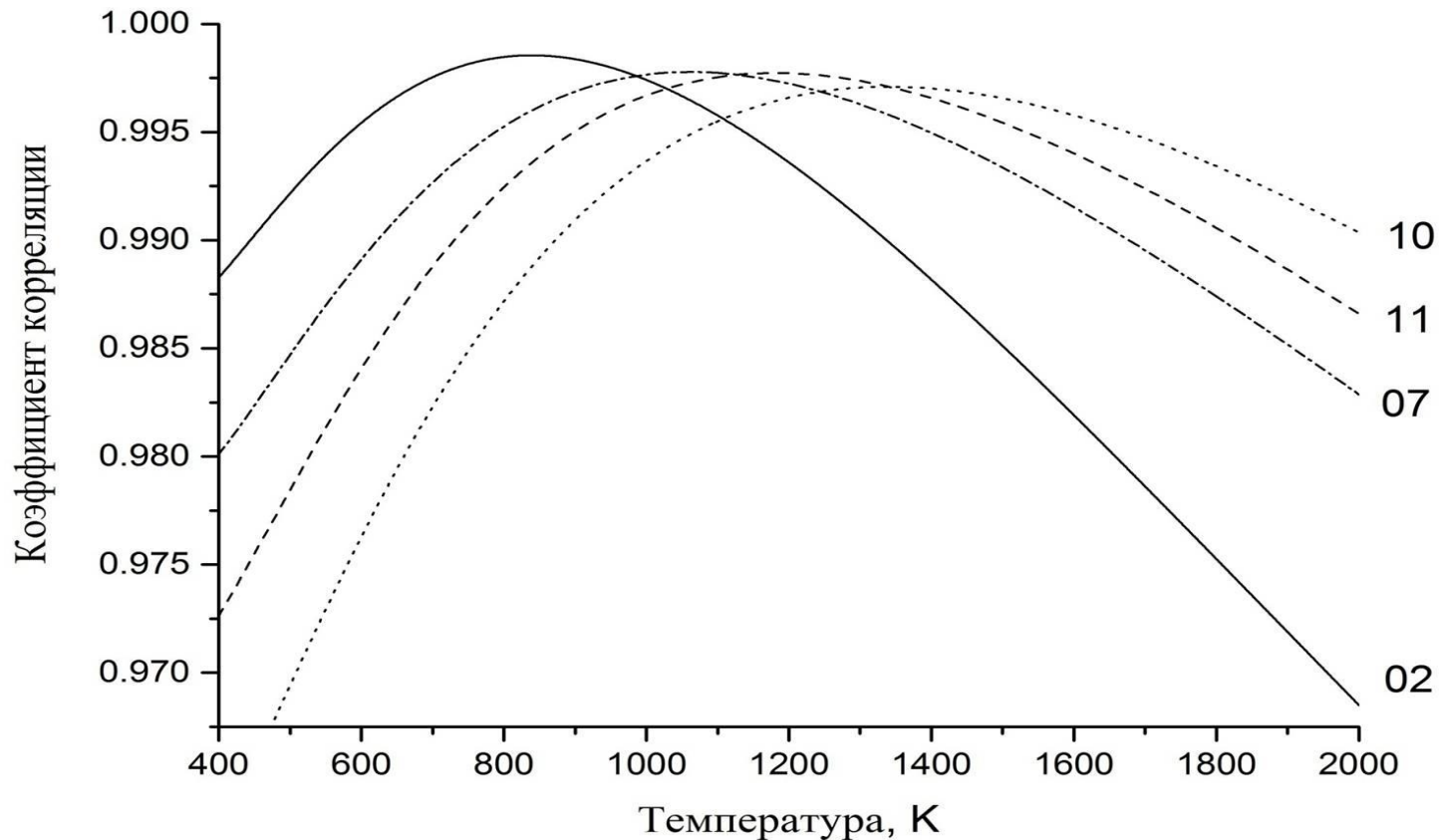
w

h



Корреляционная методика измерения температуры

Вычисление линейной корреляции между экспериментальным спектром и набором модельных спектров, синтезированных для различных температур с шагом 20 градусов



(Порядковый номер модельного спектра из набора)

Аппроксимация участком спектра

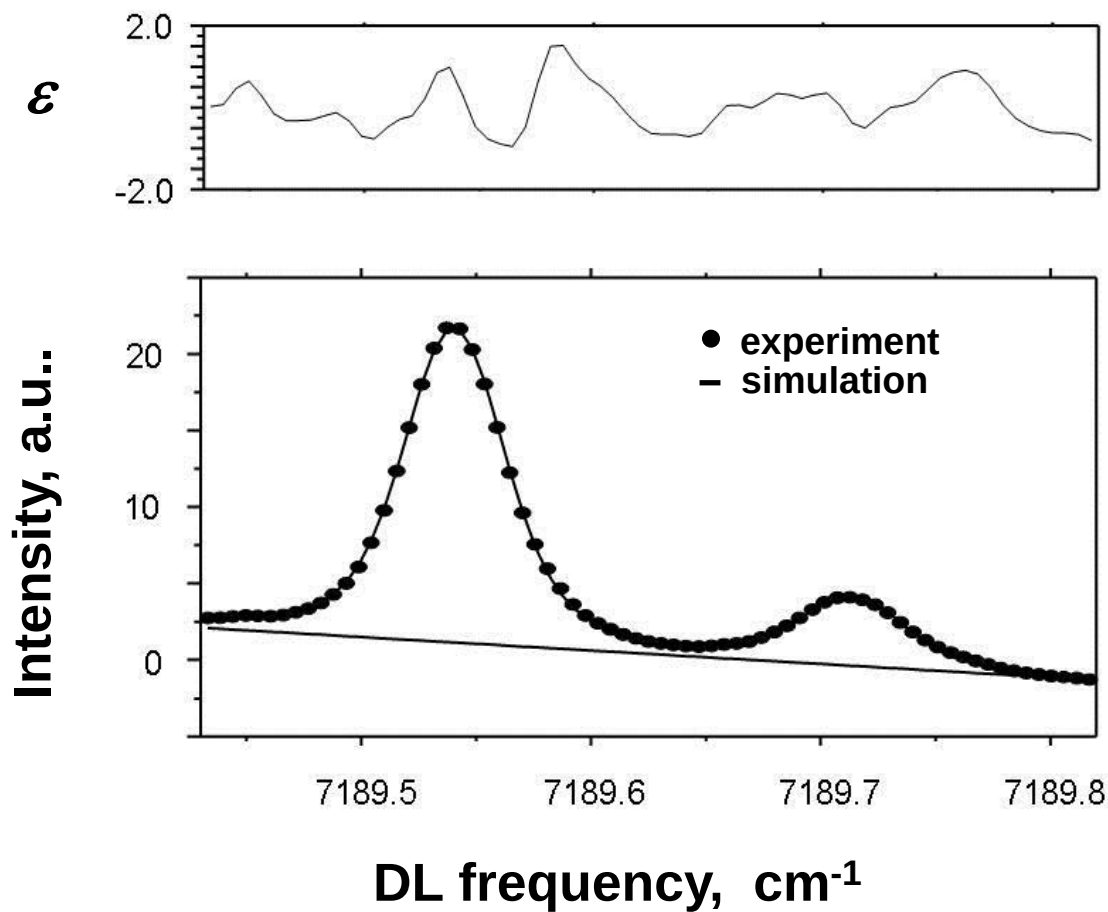
На основе базы данных симулируется участок спектра с выбранными линиями, который подгоняется к экспериментальному спектру.

В качестве подгоночных параметров используются:

- положения центров линий,
- параметры базовой линии,
- температура,
- полное давление воздуха и
- концентрация молекул воды.

Последние два параметра важны для правильной аппроксимации линий поглощения воды с учетом коэффициентов уширения воздухом и самоуширения.

Example of the fitting algorithm efficiency



$$\sqrt{\langle \epsilon_i^2 \rangle} \sim 0.4\%$$

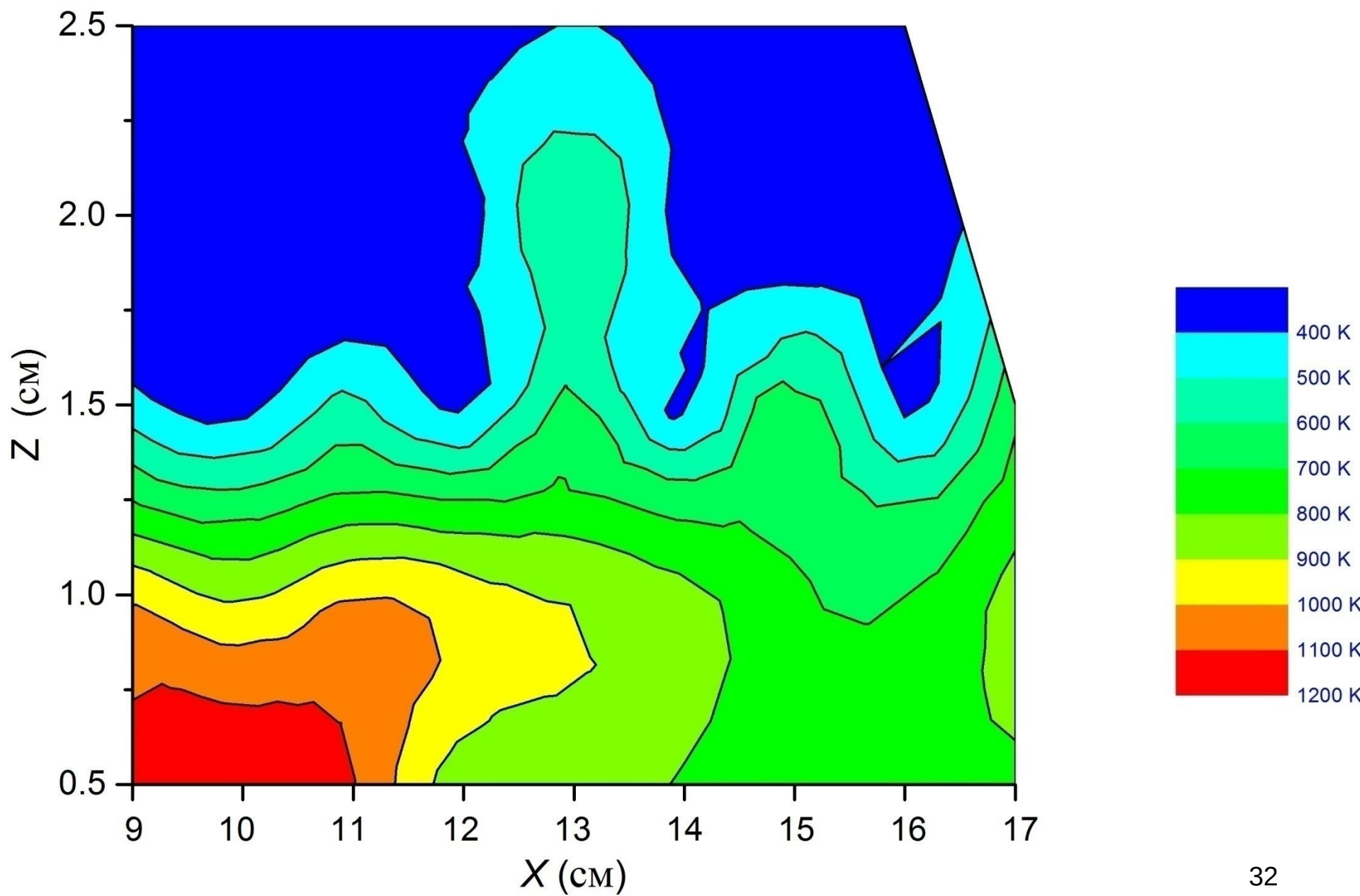
$$T = 1050 \text{ K}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 21 \text{ torr}$$

$$P_{\text{total}} = 250 \text{ torr}$$

Сравнение двух методов определения температуры по данным поглощения

Номер пуска	Температура, К	
	Подгонка спектром	Корреляционная методика
02	858	868
03	836	838
06	1084	1097
07	1061	1062
10	1378	1341
11	1167	1181



Основные выводы

Разработана конструкция спектрометра, позволяющая исследовать распределение эффективной температуры в направлении распространения сверхзвукового потока горячего газа.

Разработана схема дифференциального фотоприемного устройства, позволяющая в значительной степени уменьшить влияние на аналитический сигнал

- акустических вибраций,
- электромагнитных помех
- вклада атмосферной воды на балластном участке траектории зондирующего луча

Измерено распределение температуры при сверхзвуковом горении этилена на установке ИАДТ-50 в Институте Высоких Температур РАН. Полученные данные явились основанием для модернизации конструкции плазменного источника

Благодарю за внимание