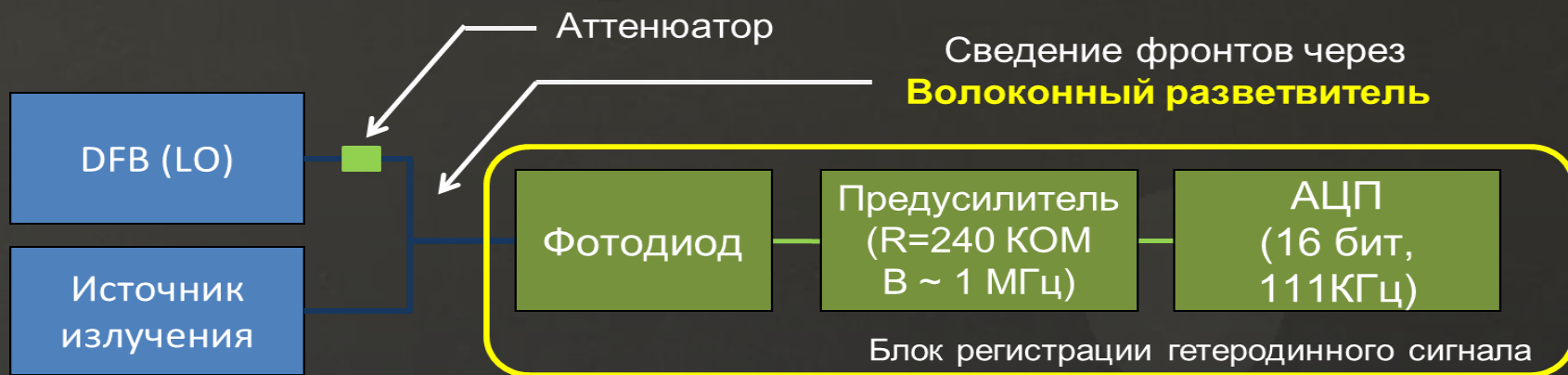


Гетеродинирование Теплового Излучения с Помощью Диодного Лазера в Ближнем ИК Диапазоне

{ Климчук А.Ю., Надеждинский А.И., Понуровский Я.Я.,
Родин А.В., Шаповалов Ю.П.

Схема эксперимента:

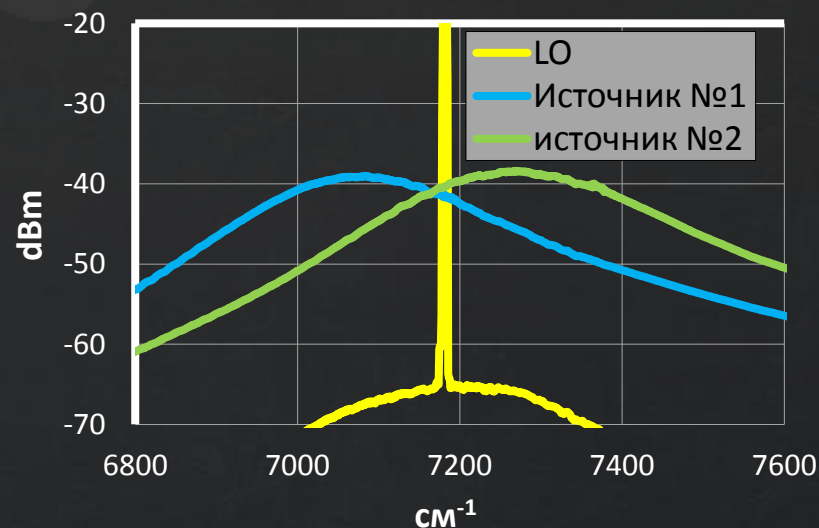


Локальный осциллятор: DFB лазер $\lambda=1.352\mu$

Источник излучения: DFB лазер, возбужденный током ниже порога генерации (№1- $\lambda=1.352\mu$; №2- $\lambda=1.357\mu$)

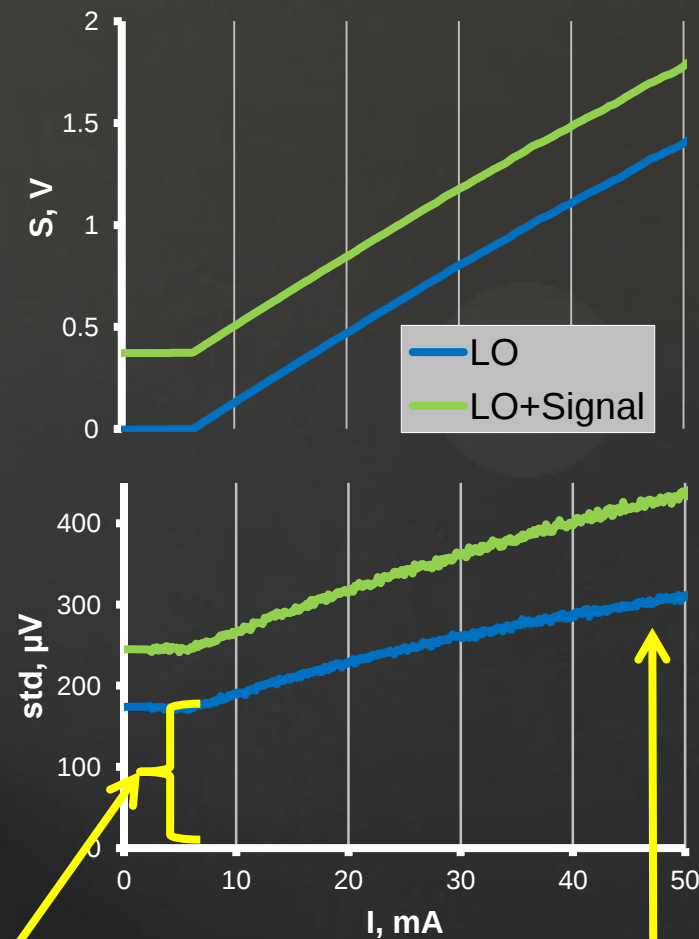
Фотодиод: pin-диод

- Регистрация промежуточных частот осуществляется в узкой полосе ~ 1 МГц
 - Перестройка по частоте осуществляется за счет изменения частоты генерации ЛО



Гетеродинный сигнал:

Сигнал и шум на фотодиоде от тока
накачки ЛО при включенном и
выключенном источнике



Напряженность поля ЛО: $E_{lo} = E_{lo} \exp[-i\omega_{lo}t]$

Напряженность поля
источника:

$$E_s = \int_0^{\infty} E_{\omega} \exp[-i\omega t] d\omega$$

Фототок:

$$i = K |\vec{E}_{lo} + \vec{E}_s|^2 = K \left[|E_{lo}|^2 + [E_{lo} E_s^* + E_{lo}^* E_s] + |E_s|^2 \right]$$

Гетеродинный сигнал:

$$[\vec{E}_{lo} \vec{E}_s^* + \vec{E}_{lo}^* \vec{E}_s] = \int_0^{\infty} E_{lo} E_{\omega} \exp[-i(\omega_{lo} - \omega)t] d\omega + KC$$



Гетеродинный сигнал вносит
дополнительный вклад в дисперсию шумов.

Измерению подлежат шумы

Шумы блока регистрации
гетеродинного сигнала

Дробовой шум

Гетеродинный и дробовой шум:

Гетеродинный шум:

$$stdU_{het} = R \sqrt{B} \sqrt{\frac{i_{lo} i_s}{\Delta \omega}}$$

Дробовой шум:

$$std(SN) = R \sqrt{e i_{lo} B}$$

R – сопротивление обратной связи предусилителя i_{lo} – фототок, обусловленный излучением локального осциллятора, i_s – фототок, обусловленный излучением источника, $\Delta \omega$ – эффективная ширина спектра сигнального излучения в области перестройки частоты диодного лазера.



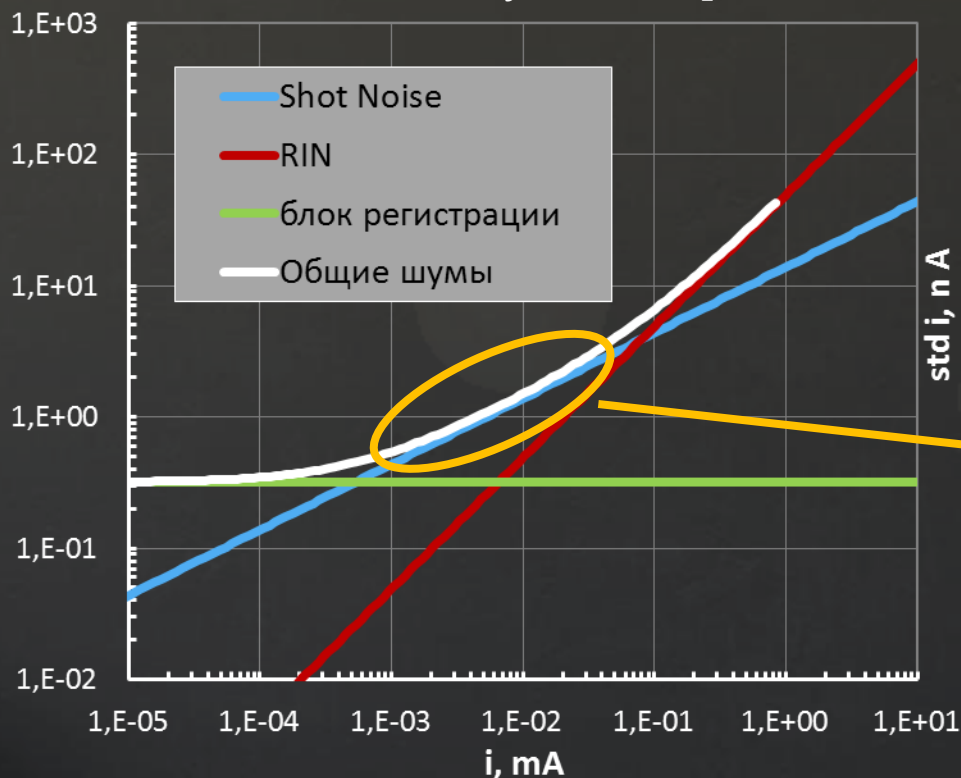
**Гетеродинный и дробовой шумы
имеют одинаковую функциональную
зависимость от R , B и i_{LO} .**



- Параметры установки должны быть подобраны так, чтобы **основной вклад** в шумовые характеристики вносил **дробовой шум** фототока.
- Гетеродинный сигнал можно измерять в единицах дробового шума.
- Для удобства измерению будет подлежать дисперсия шума (т.к. имеет линейную зависимость от фототока).

Влияние шумов:

Зависимость шумов от фототока



RIN – шумы ЛО

Shot noise – дробовые шумы

Блок регистрации – шумы блока регистрации

Существует **оптимальная** область фототока, в которой преобладающий вклад в шумы вносит дробовой шум фототока (2-20 мкА).

Что соответствует мощности ЛО 2-20 мкВт

Результаты: 1. Качественный анализ

Сканирование частоты ДЛ осуществлялась за счет изменения его температуры от 4 до 50°C.

Модовая структура источника №1, полученная гетеродинным приемом.

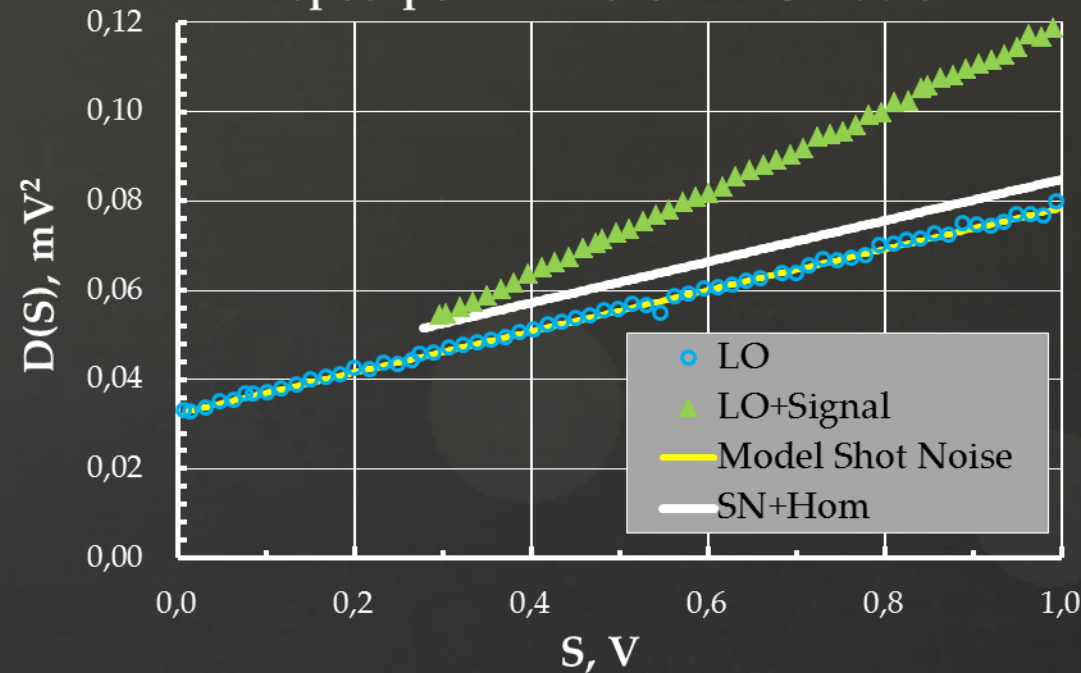
Спектр источника №1, полученный на лабораторном спектроанализаторе с разрешением RBW=0.06 нм

Паразитные линия поглощения воды внутри спектроанализатора

Наблюдается хорошее совпадение спектров

Результаты: 2. Количественный анализ

Регистрация шумов при выключенном и включенном источнике №2. Интервал перестройки частоты ЛО $\sim 0.9 \text{ см}^{-1}$



В эксперименте: $D(Het)/D(SN) \sim 0.5$
Время накопления ~ 40 минут

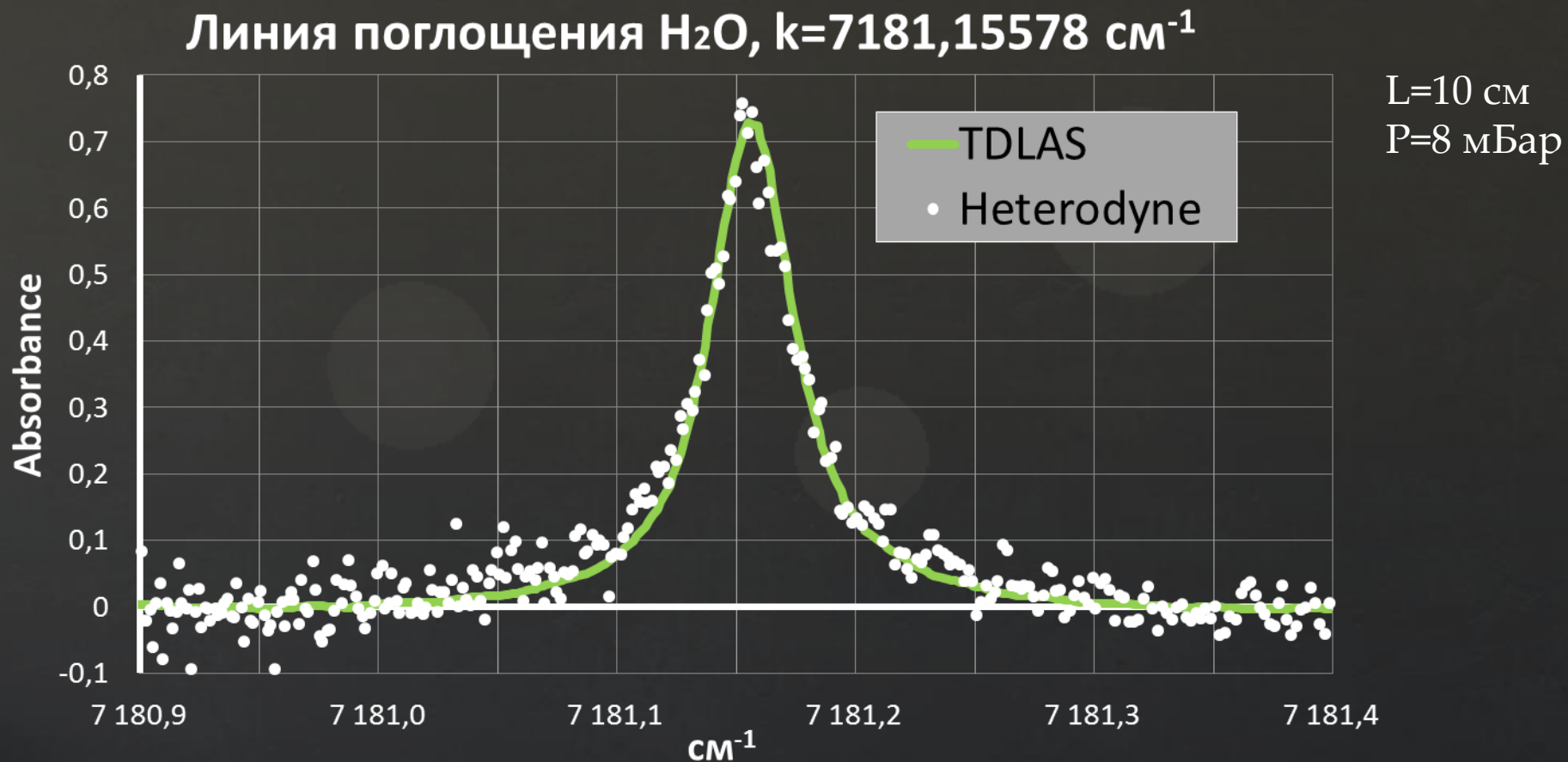
Минимально обнаружимый сигнал соответствует ширине шумовой дорожки и равен $\sim$ **1.4 % от дробового шума** фототока.

При включении источника наблюдается:

1. Перемещение начала кривой шумов на 0.3 В. Обусловлено постоянным излучением источника.
2. Вертикальное смещение кривой шумов на постоянную величину (по-видимому, обусловлено **гомодинным шумом** сигнального излучения).
3. Изменение угла наклона. Что связано с регистрацией **гетеродинного** сигнала.

Результаты: 3. Линия поглощения

Сравнение гетеродинного приема с прямыми измерениями TDLAS



Поглощение эквивалентное шумам = 0.033 ($t \sim 40$ мин)

Выводы:

1. Впервые получен эффект гетеродинирования теплового излучения в **ближнем инфракрасном** диапазоне.
2. Чувствительность находится на уровне $\sim 1.4 \%$ от дробового шума (или 10^{-21} Вт/Гц), что **на два порядка** лучше в сравнении с достигнутыми результатами в мире.
3. Наблюдался **гомодинный шум** широкополосного излучения.
4. Ожидается, что спектральное разрешение будет соответствовать ширине линии генерации диодного лазера ~ 2 МГц (**$\sim 10^8$**).
5. На основе разработанного метода возможно создание компактного прибора для астрономических наблюдений.