



В.В. Лагунов, И.В. Николаев, В.Н. Очкин

Влияние скорости перестройки частоты на спектр слабого поглощения частиц во внешнем резонаторе с не осевым вводом лазерного излучения

ICOS и виды ввода излучения в резонатор

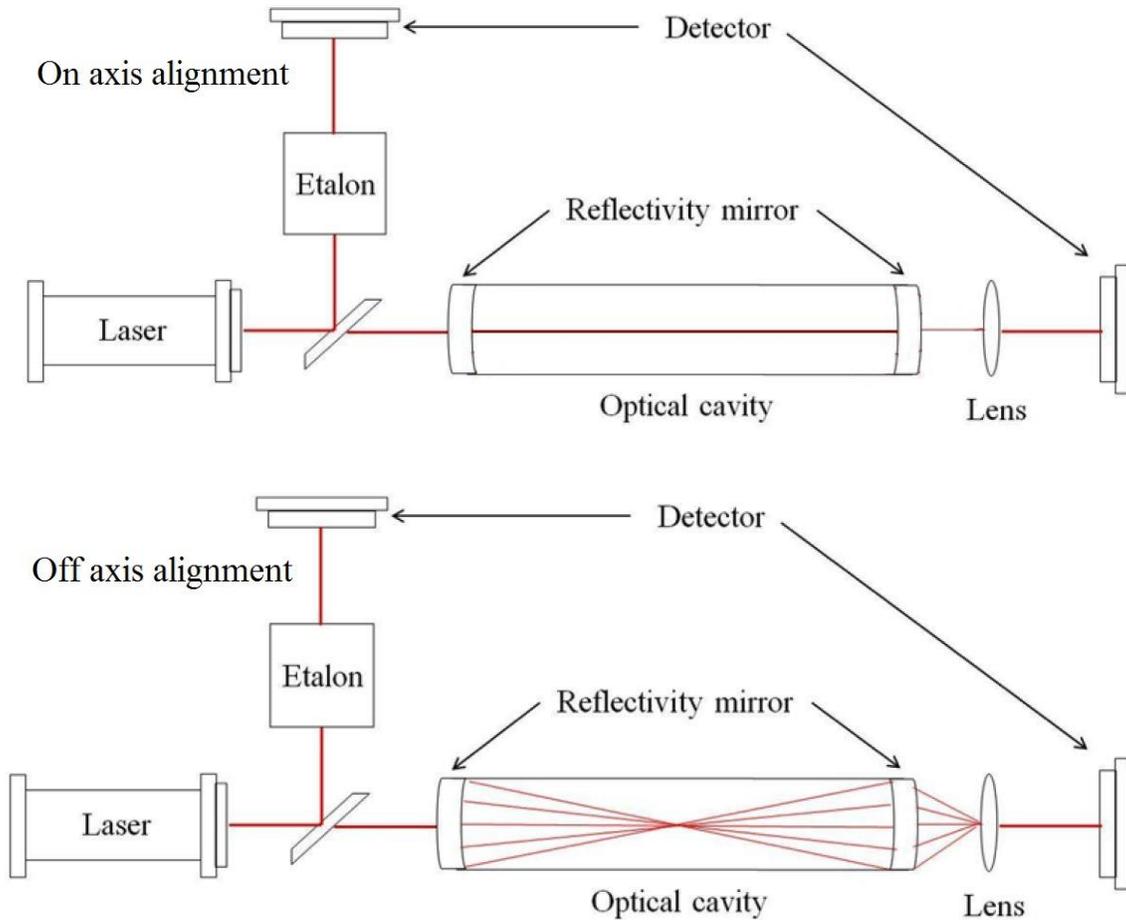


Рис.1. Осевой и не осевой ввод излучения.

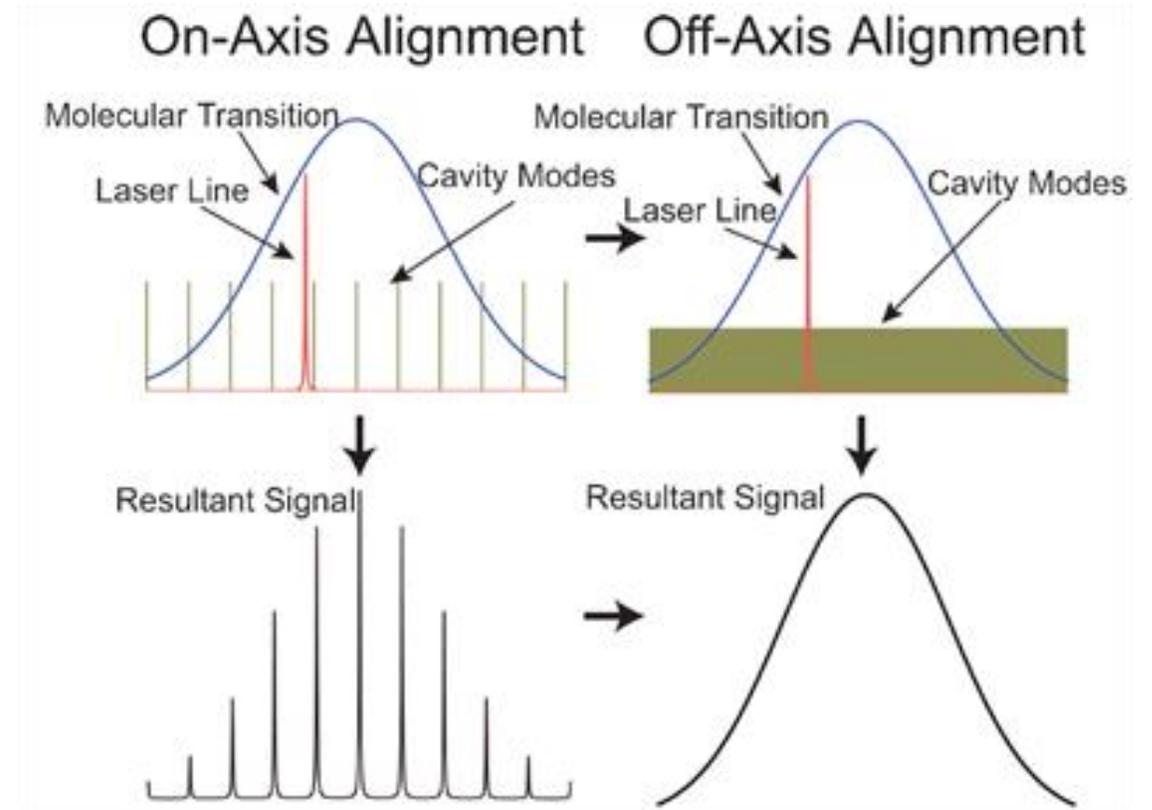


Рис.2. Модовые структуры при осевом и не осевом вводе излучения в резонатор.

Примеры спектров поглощения при разных режимах ввода излучения

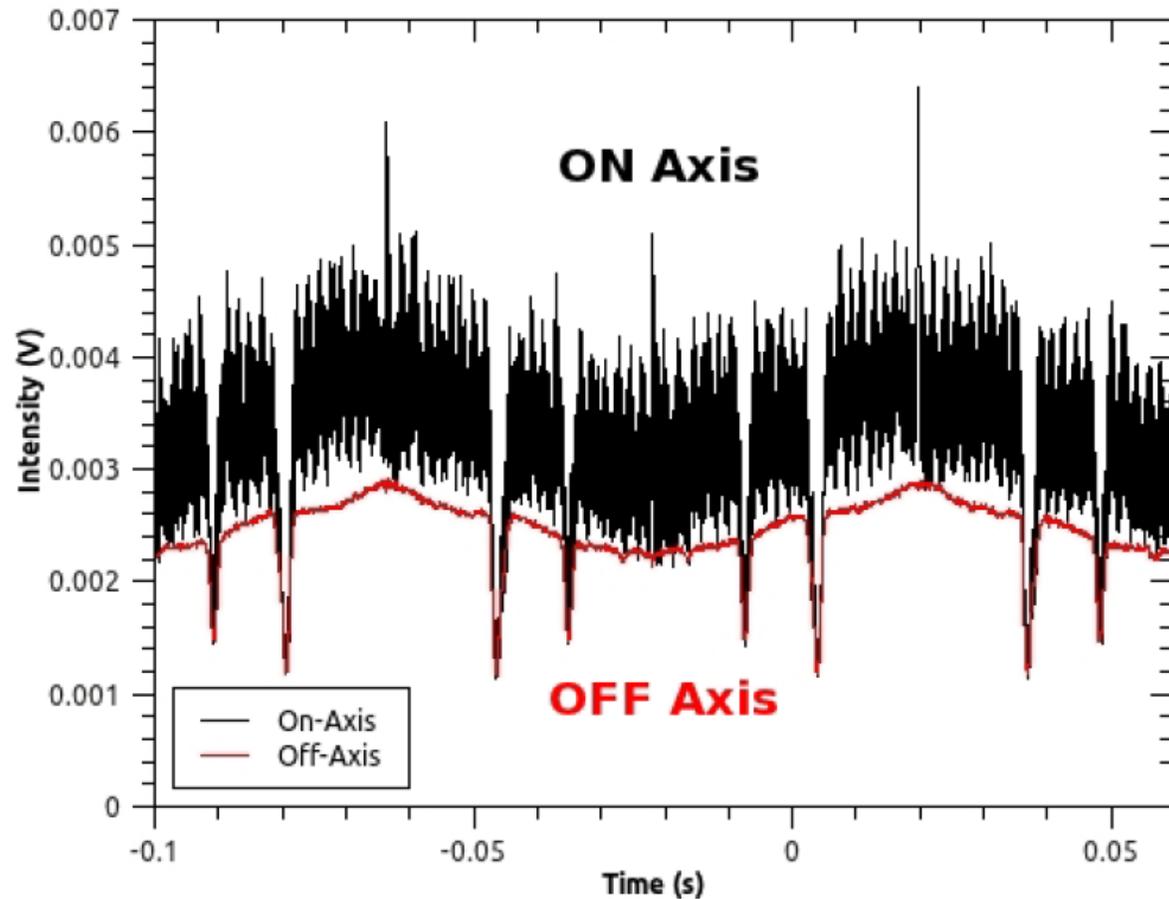


Рис.3. Спектры поглощения в осевом и не осевом режиме ввода [1].

Получаемые спектры с искажением

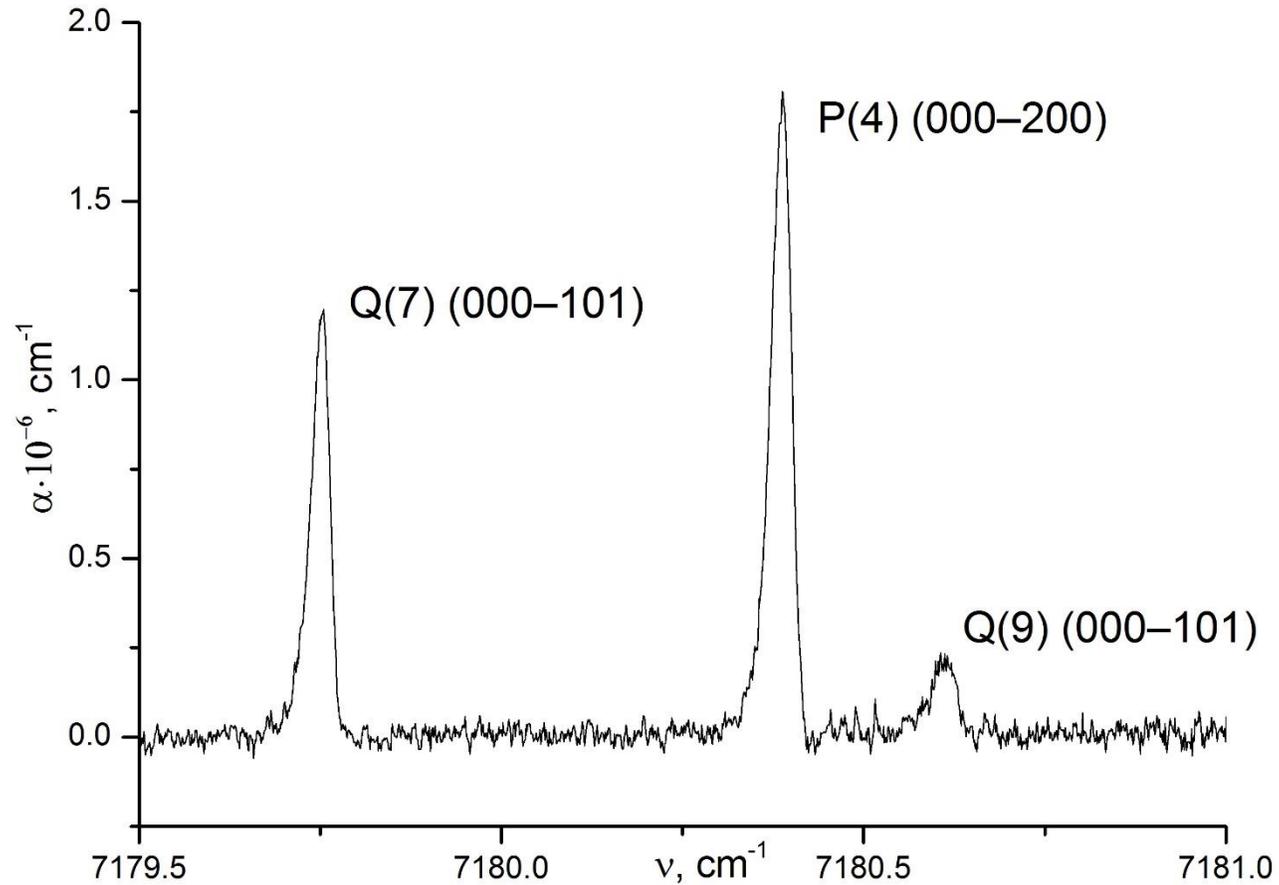


Рис. 4. Спектр поглощения воды при скорости перестройки $\mu = -8 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ и температуре лазера 303K. Давление паров воды 0.063 Торр. Пара зеркал с отражением 99.98%.

Известные явления, приводящие к искажению контуров спектральных линий

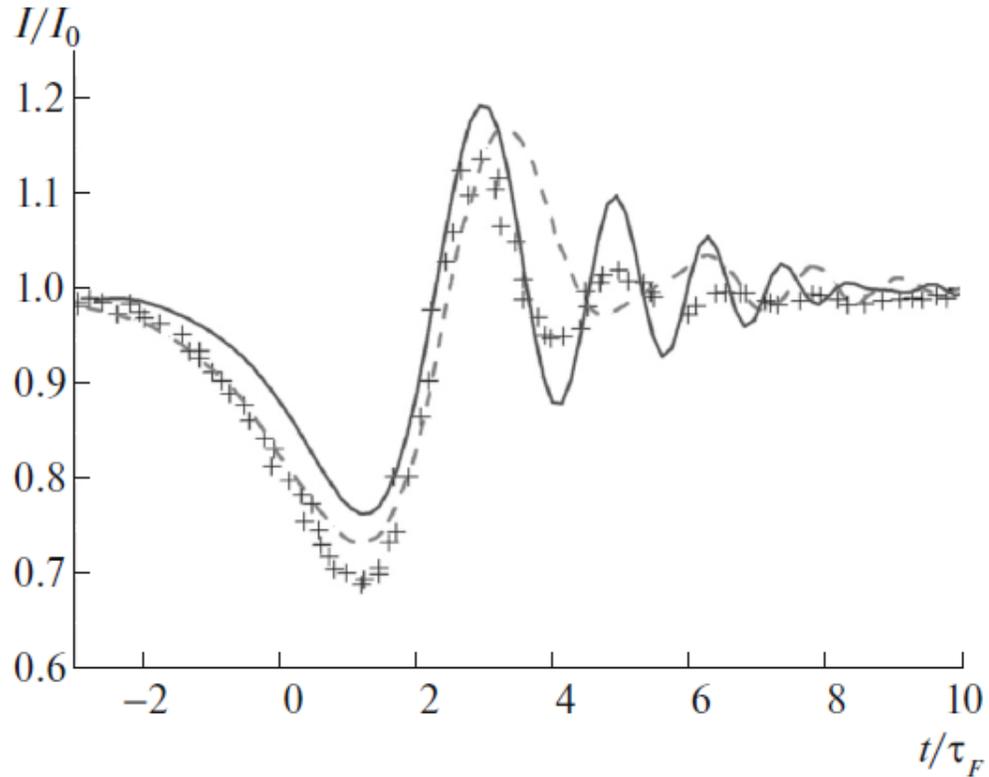


Рис.5. Экспериментальные и расчетные спектры поглощения NH_3 в области около 10 мкм [2].

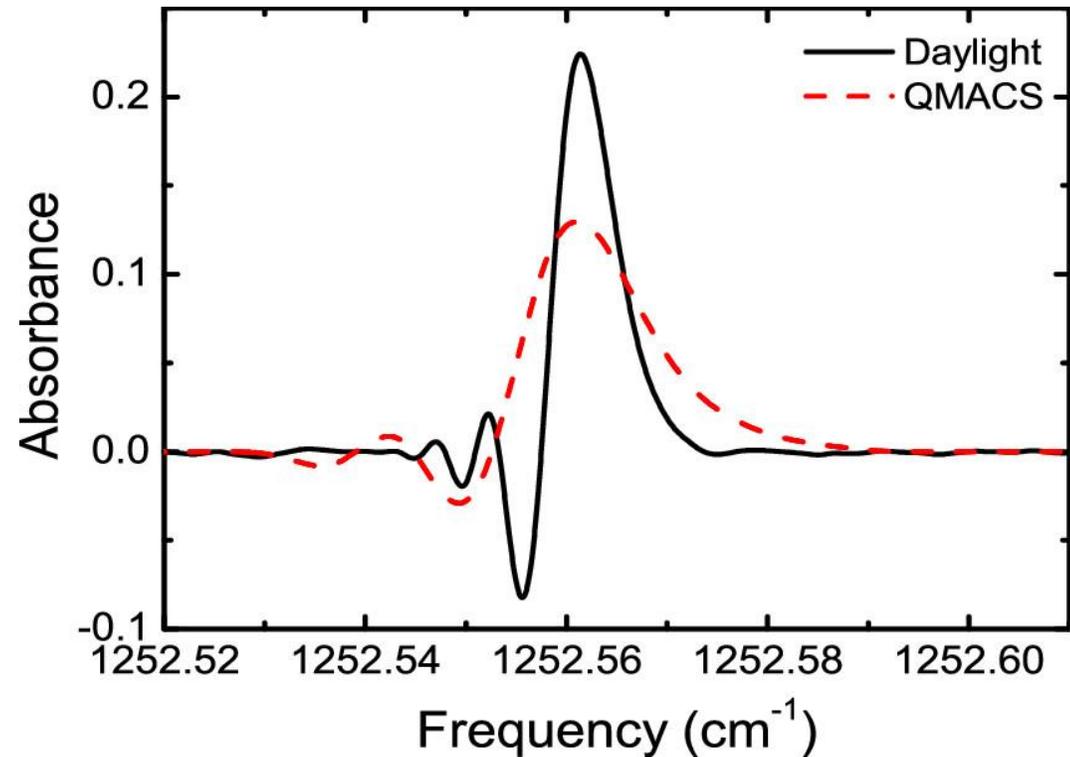


Рис. 6. Спектры 20 мТорр N_2O , измеренные двумя лазерными системами (колебательный переход P36(e) в полосе ν_1) [3].

2. S. N. Andreev, V. N. Ochkin, N. V. Pestovskii, and S. Yu. Savinov, Coherent spectroscopy with fast frequency swept lasers Opt. Spectrosc., 119 (3) (2015), pp. 385-391

3. J. H. van Helden; R. Peverall; G. A. D. Ritchie; R. J. Walker; Appl. Phys. Lett. 94, 051116 (2009)

Схема установки

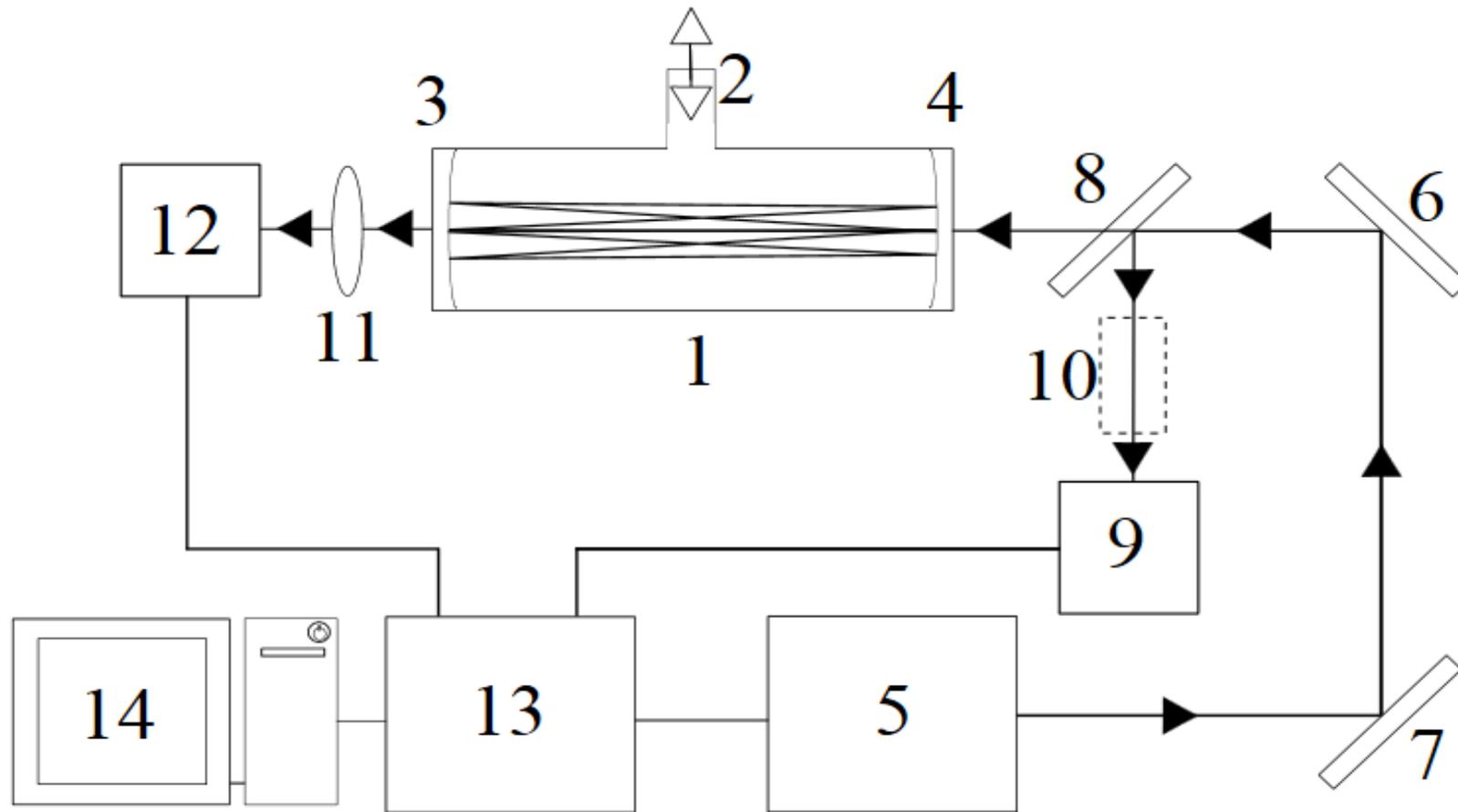


Рис.7. Экспериментальная установка.

Характеристики измерительной системы

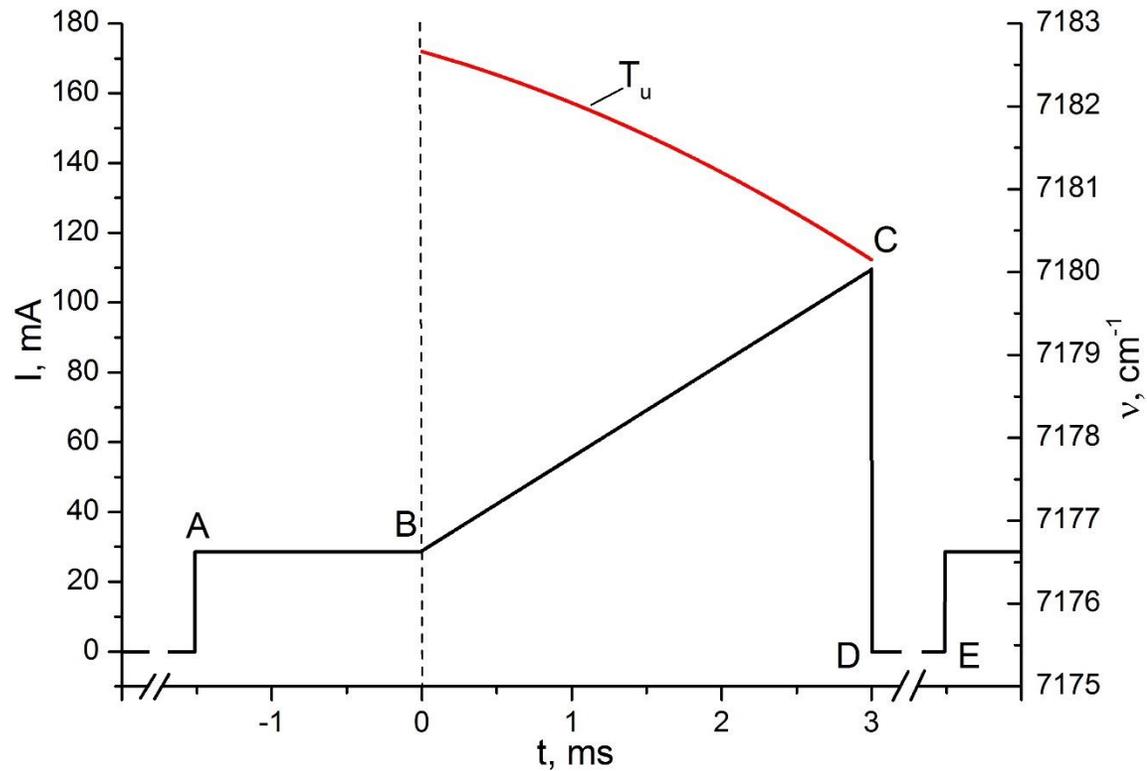


Рис.8. Импульс тока накачки лазера ABCDE и калибровочная кривая T_u при скорости перестройки $-8 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$ (частота оцифровки 800 кГц).

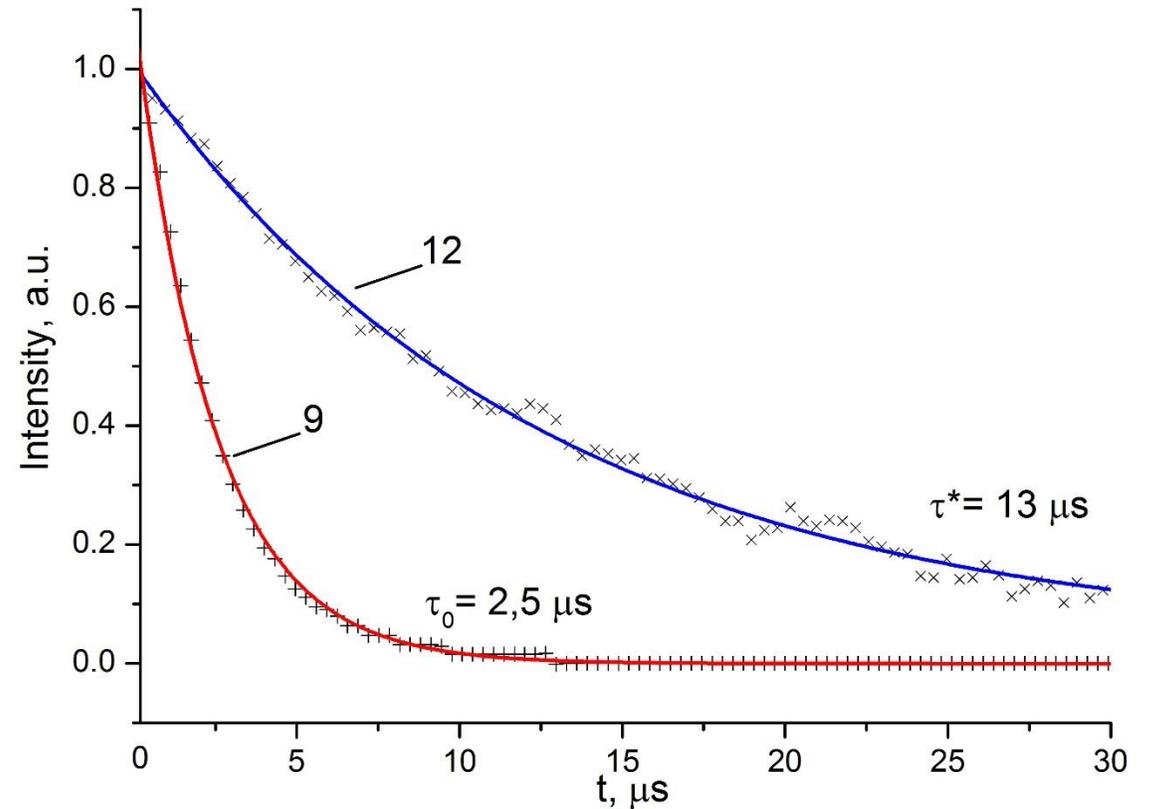


Рис.9. Затухание сигналов с детекторов 9 и 12 (рис.7) при $R=99.98\%$ и скорости перестройки $-8 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$.

Полученные результаты

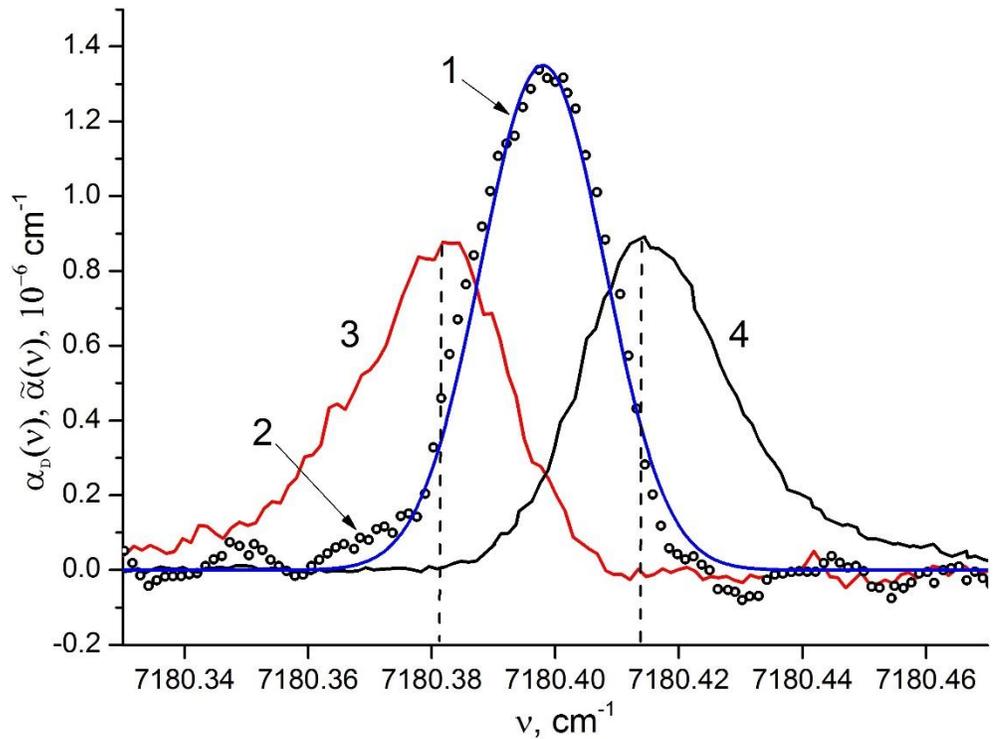


Рис.10. Допплеровский (1) и измеренные (2-4) контуры поглощения. 2 - $\mu = 10^2 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{c}^{-1}$. 3, 4 - $|\mu| = 8 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1} / \text{c}^{-1}$. Зеркала 99,98%, давление 0,035 Торр.

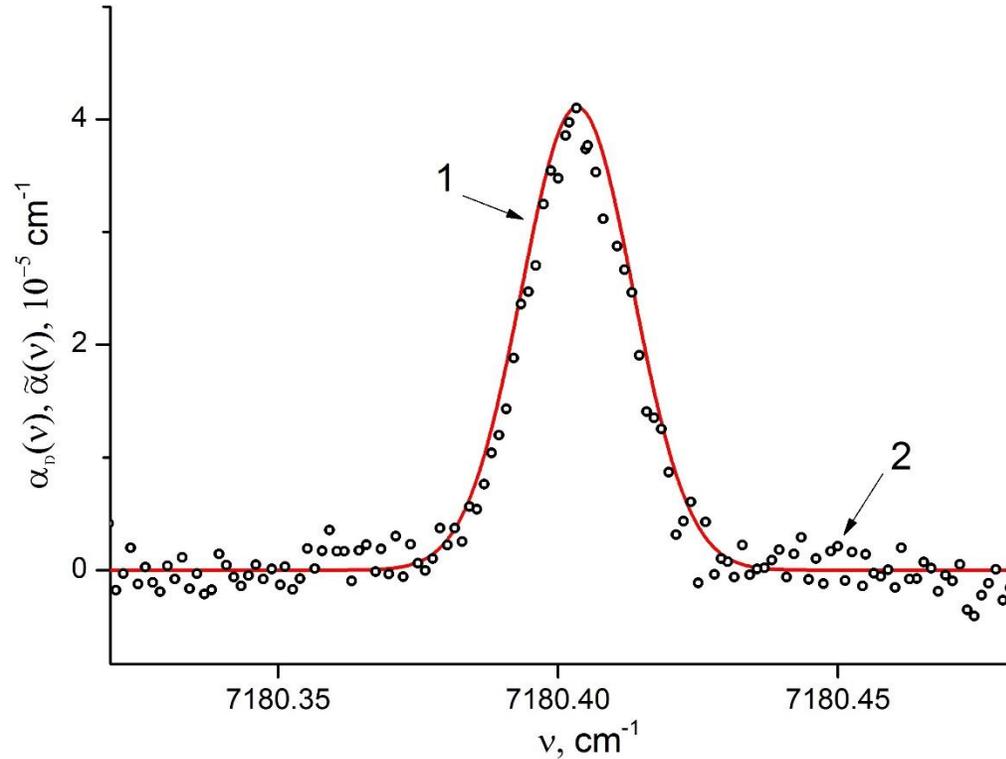


Рис.11. Допплеровский (1) и измеренный (2) контуры поглощения. 2 - $\mu = 8 \cdot 10^2 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{c}^{-1}$. Зеркала 99%, давление 1 Торр.

Описание явления, длина когерентности

$$\tilde{\alpha}(\nu) = \frac{\tilde{I}^0(\nu) - \tilde{I}(\nu)}{\tilde{I}(\nu)} \cdot \frac{1 - R}{l \cdot R}$$

$$\tilde{I}(t, \Delta t) = C_p \sum_{i=0}^{\frac{\Delta t}{t}} \tilde{I}_L(t'_i) h(t, t'_i, \Delta t, R)$$

$$h(t, t', \Delta t, R) = \begin{cases} 0, & t < t' \\ \frac{\left(1 - e^{\frac{-(t-t')}{\tau(t', R)}}\right) T^2}{2 \cdot (1 - R'(t', R))}, & t' < t \leq t' + \Delta t \\ \frac{\left(1 - e^{\frac{-\Delta t}{\tau(t', R)}}\right) T^2}{2 \cdot (1 - R'(t', R))} \cdot e^{\frac{-(t-t'-\Delta t)}{\tau(t', R)}}, & t > t' + \Delta t \end{cases}$$

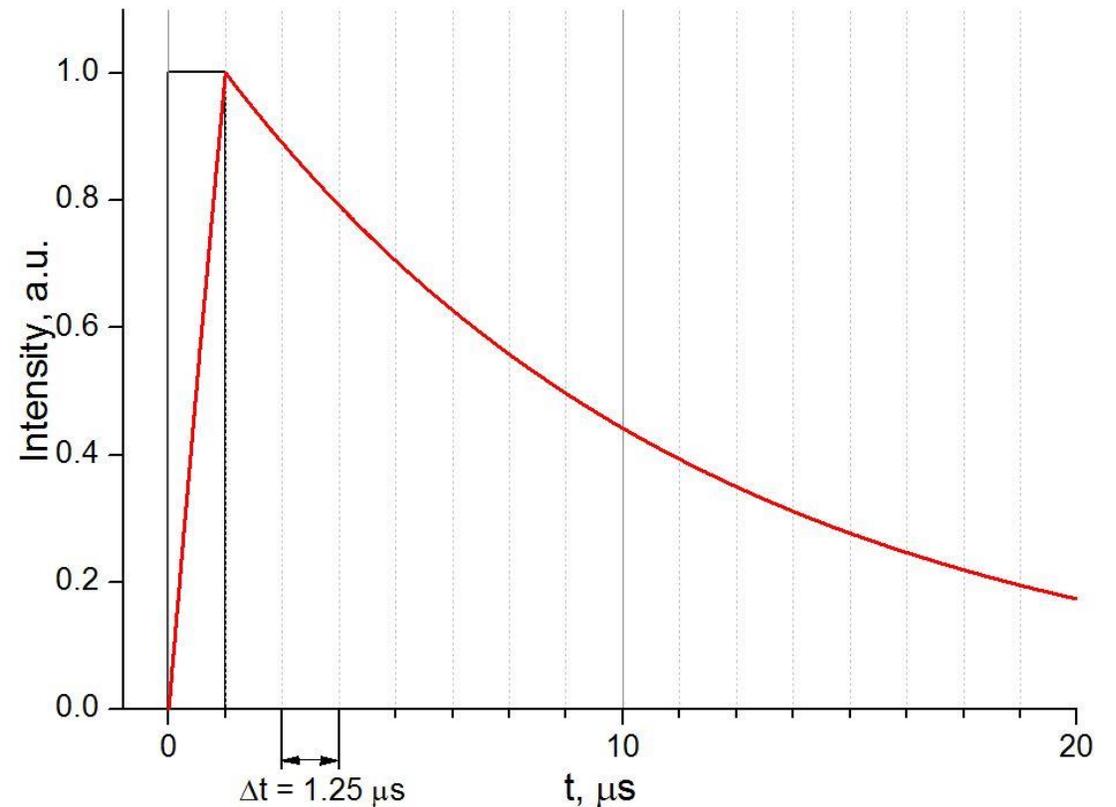


Рис.12. Функция отклика $h(t, t', \Delta t, R)$ резонатора с зеркалами 99,98% на единичный прямоугольный импульс длительностью $\Delta t = 1.25$ мкс.

Сравнение расчета и эксперимента

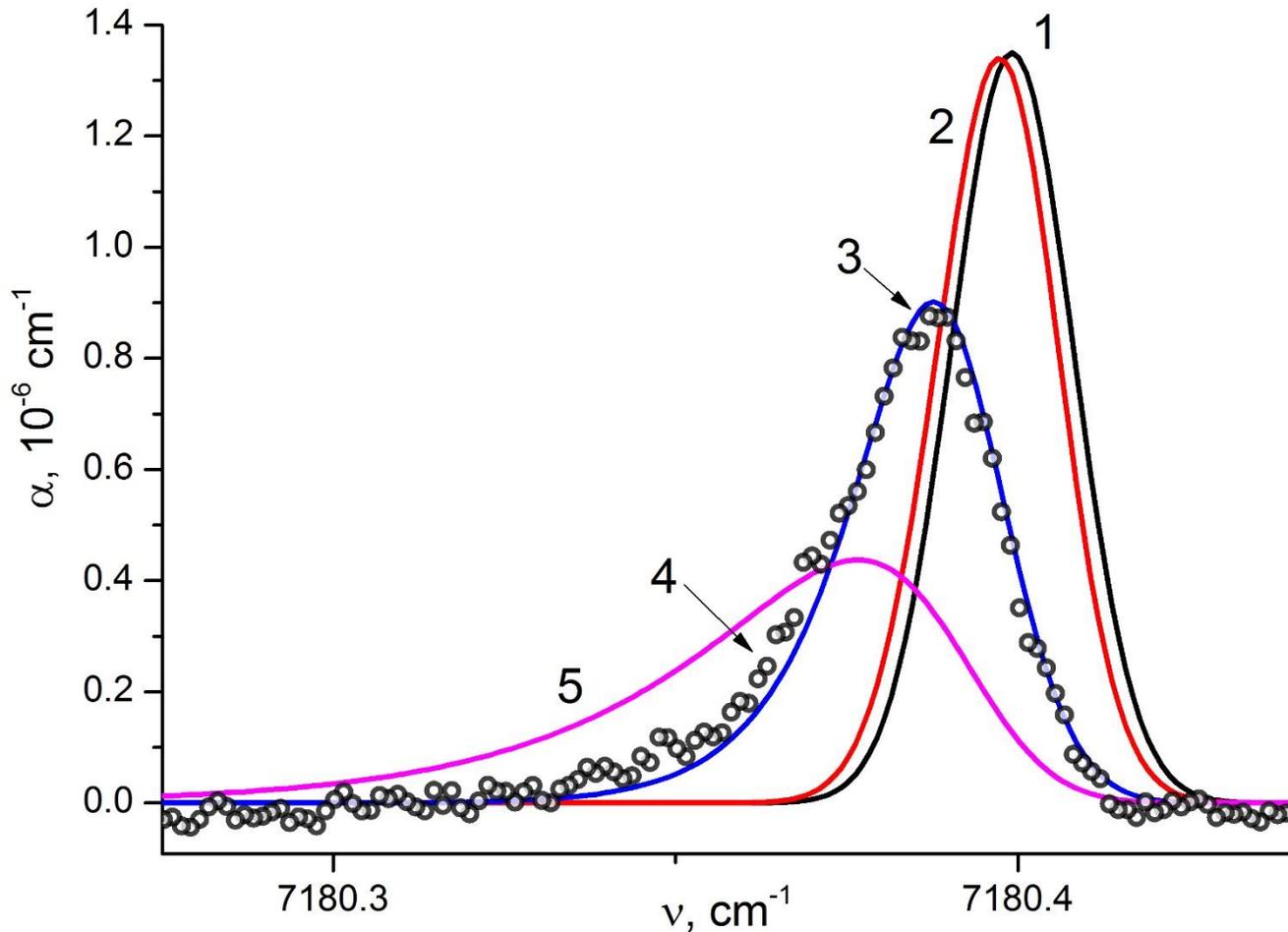


Рис. 13. Контурь линии поглощения P(4) (000-200) для различных скоростей перестройки частоты. 1 – Доплеровский контур, 2 – $\mu = 100 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$, 3, 4 – $\mu = 800 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$, 5 – $\mu = 2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}/\text{мс}^{-1}$. Отражение зеркал $R = 99.98\%$, давление паров воды $p = 0.035 \text{ Торр}$. Сплошные линии – расчет, маркеры – эксперимент.

Выводы

- При регистрации спектров поглощения частиц с применением перестраиваемого диодного лазера и высокодобротного резонатора отмечены эффекты нарастания искажений контуров линий при увеличении скорости μ сканирования частоты. На примере слабого поглощения молекулами воды установлено, что деформации контура наступают при скоростях сканирования на 3-5 порядков меньших, чем это можно было бы ожидать, исходя из механизма когерентных эффектов, изученных ранее для поглощения в открытом пространстве на относительно коротких трассах.
- В условиях описываемого эксперимента существенные отступления от статического контура наступают уже при $\mu \approx 10^3 \text{ см}^{-1}\text{с}^{-1}$.
- В высокодобротных резонаторах длина когерентности лазерного излучения ограничена по сравнению с длиной оптического пути. Наблюдаемые искажения не связаны с оптической нелинейностью, а возникают в связи с конечностью времени взаимодействия излучения с веществом. Величина искажений определяется продолжительностью пребывания фотонов в резонаторе.

Спасибо за внимание!