

# Детектирование ядерных спиновых изомеров молекул воды при помощи самосканирующего тулиевого волоконного лазера

**А.Е. Бударных<sup>1,\*</sup>, И.А. Лобач<sup>1</sup>, С.И. Каблуков<sup>1,2</sup>, П.Л. Чаповский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт автоматики и электрометрии СО РАН

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет

\*E-mail: [buar.work@gmail.com](mailto:buar.work@gmail.com)

DOI: 10.31868/RFL2020.145-146

Благодаря своей высокой научной и практической значимости молекулы воды в настоящее время, в основном, хорошо изучены. Тем не менее, некоторые свойства молекул воды, например, свойства ядерных спиновых изомеров, изучены еще недостаточно. Молекулы воды существуют в природе в виде двух ядерных спиновых изомеров, различающихся значением полного спина ядер водорода в молекуле [1]: орто- и пара-молекулы с симметричным и антисимметричным спиновым состоянием соответственно. При комнатной температуре в равновесных условиях отношение концентрации орто- и пара-молекул воды (орто-/пара-отношение, ОПО) с хорошей точностью равняется 3. Исследование свойств ядерных спиновых изомеров является актуальной задачей, например, для ЯМР и астрофизики в задачах определения физических условий в межзвездном пространстве [2]. Исследования спиновых изомеров опираются на методы их обогащения и методы измерения их ОПО.

В данной работе для детектирования изомеров воды и измерения отношения их концентрации был применен метод инфракрасной колебательно-вращательной спектроскопии. Для этого разработан спектрометр на основе тулиевого волоконного лазера с эффектом самосканирования, работающий в области 1.91 мкм [3,4], где присутствуют сильные линии поглощения воды. Самосканирующие лазеры обладают рядом полезных особенностей (простота схемы, отсутствие необходимости контроля длины волны и др.), которые дают значительные преимущества по сравнению с другими перестраиваемыми источниками света.

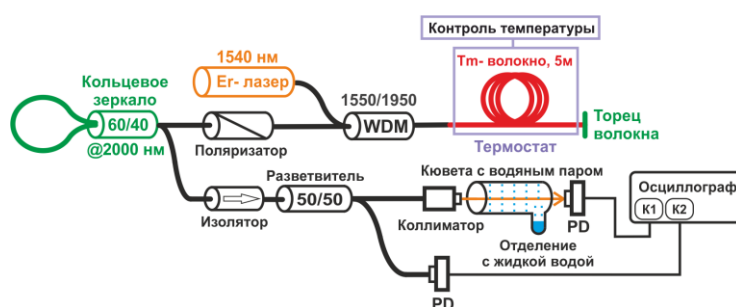


Рис. 1. Схема спектрометра на основе тулиевого самосканирующего лазера.

Схема спектрометра представлена на Рис. 1. Коэффициент пропускания волоконного зеркала составляет 5%, а длина резонатора лазера равна 5 м. Диапазон сканирования лазера составил 1905-1918 нм, скорость сканирования 7 нм/с. Излучение с мощностью 1 мВт, проходящее через кольцевое зеркало, использовалось для спектральных измерений. Для этого излучение разделялось на опорный и тестовый каналы при помощи разветвителя 50/50 @2000 нм. Исследуемые пары воды содержались в герметичной стеклянной кювете. Кювета имела аппендикс с

жидкой водой. Перед проведением эксперимента кювета и вода в ней тщательно обезгаживались. Давление насыщенных водяных паров – 23 мбар соответствует температуре кюветы 21°C. Оптический путь внутри и вне кюветы составил 84 мм и ~20 мм соответственно.

Для получения ОПО сначала измерялся спектр пропускания излучения, прошедшего через водяной пар. В тестовом канале луч коллимировался (коллиматор Thorlabs RC04FC-P01) и направлялся в кювету. Мощности в опорном и тестовом каналах регистрировались фотодетекторами (Thorlabs DET10DM), после чего сигнал направлялся на осциллограф (LeCroy, WavePro725Zi-A). Для учёта небольшого поглощения излучения в воздухе вне кюветы, мы измеряли спектр с парами воды, вымороженными жидким азотом. Для компенсации флуктуаций по амплитуде, тестовый сигнал нормировался на опорный, что давало нам в итоге необходимый спектр пропускания насыщенного водяного пара.

На основе измеренного спектра пропускания паров воды в кювете и данных, полученных из базы HITRAN, был определен экспериментальный спектр оптической плотности орто- и пара- молекул (Рис.2а). Частоты измеренных нами линий поглощения воды хорошо согласуются с данными HITRAN. Измеренное нами ОПО молекул воды составило  $3.06 \pm 0.02$  (Рис.2б).

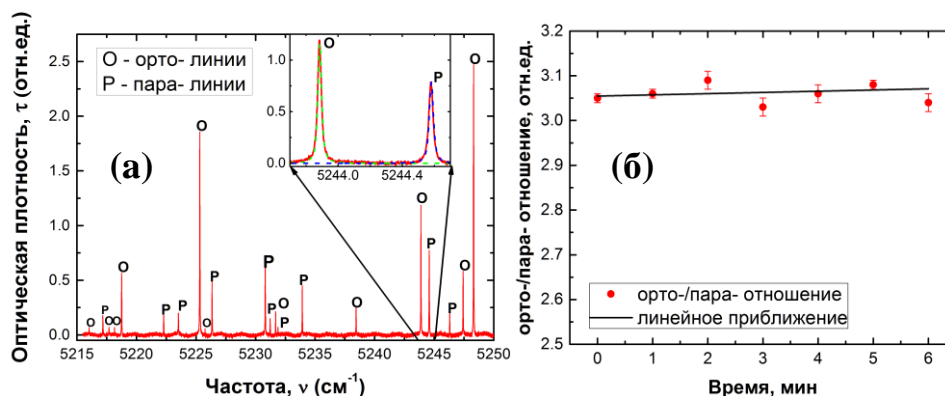


Рис. 2. (а) Оптическая плотность воды (красным). Вставка: расчетные и экспериментальные оптические плотности для орто- (зеленым) и пара- линий (синим); (б) ОПО для серии измерений.

В качестве преимуществ созданного спектрометра, отметим большой диапазон сканирования, около  $35 \text{ см}^{-1}$ , высокое разрешение, порядка  $10^{-5} \text{ см}^{-1}$ , и высокую скорость измерений, до 1 измерения в секунду. Более подробное описание методики измерения и полученных результатов будет представлено в докладе.

Работа А.Е. Бударных, И.А. Лобача и С.И. Каблукова выполнена в рамках государственного задания ИАиЭ СО РАН (№ АААА-А19-119112990054-4). Работа П.Л. Чаповского поддержана Российском научным фондом (Проект № 17-12-01418).

## Литература

- [1] Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Наука (1974)
- [2] T. Nama, A. Kouchi, and N. Watanabe, *Science* **351**, 65-67 (2016)
- [3] A.E. Budarnykh et al., *Opt. letters* **43**, 5307-5310 (2018)
- [4] A.E. Budarnykh et al., *Laser Physics Letters* **17**, 065702 (2020)