

УДК 535.375.56

АНАЛИЗ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ДЫХАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ИЗОТОПОЛОГОВ $^{12}\text{CO}_2$ И $^{13}\text{CO}_2$

Кенжебаева Ю. ¹

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Виткин В.В. ¹

¹Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация.

В работе представлена система для детектирования изотопологов $^{12}\text{CO}_2$ и $^{13}\text{CO}_2$ в выдыхаемом человеком воздухе. Рамановский газоанализатор включает в себя одночастотный твердотельный непрерывный лазер с длиной волны 532 нм и мощностью 5 Вт, фокусирующую систему, газовую ячейку и спектрометр, выполненный по схеме Черни-Тернера. В результате обработки 10 спектров рамановского рассеяния в выдыхаемом человеком воздухе при давлении 1 атм обнаружен ожидаемый в районе 1370 см^{-1} пик, относящийся к $^{13}\text{CO}_2$, расположенный на крыле высокоинтенсивного пика $^{12}\text{CO}_2$.

Введение.

Анализ соотношения изотопов углерода является актуальным методом, используемым во многих технологических и научных областях, таких как проверка подлинности продуктов питания, геохимия, медицина, криминология и мониторинг окружающей среды. Соотношение изотопов углерода в пробе зависит от источника, из которого образец получен. Образец наследует «изотопную подпись» источника. Например, соотношение изотопов в выдыхаемом человеком воздухе зависит от потребляемой пищи. Такой подход является основой метода выявления язвенной болезни с помощью изотопного теста дыхания. Изотопы углерода в выдыхаемом CO_2 могут быть ценным биомаркером кахексии (истощения организма) в реальном времени, связанной с острой фазой реакции, вызванной эндотоксемией (накоплением токсических веществ в организме). Острая фазовая реакция вызывает сдвиги в стабильных изотопах углерода в выдыхаемом CO_2 , которые могут использоваться для мониторинга метаболизма питательных веществ. В настоящее время существует несколько подходов для определения изотопов углерода $^{13}\text{CO}_2$ в дыхании человека. Изотопно-масс-спектрометрия (IRMS) - этот метод обладает высокой точностью, чувствительностью и стабильностью анализа углекислого газа, выдыхаемого человеком, но он сложный, дорогостоящий и требует значительных затрат на оборудование и обучение персонала. Другой метод определения изотопов углерода в дыхании человека осуществляется при помощи использования изотопно-селективного недисперсионного инфракрасного спектрометра. Данный метод подходит только для простых тестов дыхания, когда требуется небольшое количество образцов, например, для выявления заболевания желудочно-кишечного тракта. В работе предложен способ детектирования изотополога $^{13}\text{CO}_2$ в выдыхаемом воздухе человеком с помощью рамановского газоанализатора высокого разрешения.

Основная часть.

В работе представлена система, разработанная в рамках проекта RFMEFI57518X0180, принцип действия которой основан на эффекте рамановского рассеяния. Основная трудность заключается в определении положения рамановских пиков для $^{12}\text{CO}_2$ и $^{13}\text{CO}_2$. Например, $^{12}\text{CO}_2$ имеет пик при 1388 см^{-1} , а $^{13}\text{CO}_2$ имеет пик при 1370 см^{-1} . Это приводит к разнице в 0,6 нм, когда рамановский сигнал возбуждается излучением 532 нм. Представленный детектор позволяет быстро определять концентрацию объемной доли газов на низких уровнях до 0,01%.

Детектор состоит из непрерывного твердотельного лазера мощностью, фокусирующей системы с компенсацией сферической аберрации, газовой кюветы и спектрометра

высокого разрешения с матрицей, охлаждаемой до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Непрерывный одночастотный твердотельный лазер с узкой шириной линии 0.1 пм , с центральной длиной волны $532,12\text{ нм}$ используется для возбуждения рамановского излучения.

В данном эксперименте кювета наполнялась выдыхаемым воздухом, а время сбора рамановского сигнала одного спектра составляло 30 секунд . Интенсивное лазерное излучение фокусировалось в газовой кювете, способной выдерживать давление до 50 атмосфер , диаметр пучка перетяжки составлял 30 мкм . В газовой кювете рамановское излучение возбуждалось и собиралось в направлении перпендикулярном возбуждающему пучку объективом с числовой апертурой $\sim 1,2$. Объектив собирал рамановское излучение, которое проходило через два отрезающих фильтра для уменьшения мощности возбуждающего излучения с длиной волны 532 нм на 12 порядков . После прохождения отрезающего фильтра зондирующий сигнал фокусировался на входной щели спектрометра шириной 20 мкм , выполненного по схеме Черни - Тернера. Дифракционная решетка спектрометра имеет $1800\text{ штрихов на мм}$ и обеспечивает спектральную селективность около 40 мкм . КМОП-камера, используемая в качестве детектора, охлаждается до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет увеличить отношение сигнал-шум.

В результате обработки 10 спектров рамановского рассеяния в выдыхаемом человеком воздухе при давлении 1 атм обнаружен ожидаемый в районе 1370 см^{-1} пик относящийся к $^{13}\text{CO}_2$, расположенный на крыле высокоинтенсивного пика $^{12}\text{CO}_2$.

Выводы.

Представленный рамановский газоанализатор способен обнаруживать изотопологи $^{12}\text{CO}_2$ и $^{13}\text{CO}_2$ в выдыхаемом человеком воздухе при атмосферном давлении. В дальнейшем для увеличения интенсивности рассеянного рамановского излучения планируется использовать интерферометр, который увеличит количество проходов возбуждающего пучка внутри газовой кюветы. Кроме этого, для увеличения соотношения сигнал-шум необходимо: учесть фоновые шумы; увеличить число измерений и увеличить экспозицию до максимальной (600 с).

Кенжебаева Ю. (автор)

Виткин В.В. (научный руководитель)