

УДК 543.422.4

© Л. А. Конопелько, А. В. Ильинский, Д. В. Румянцев

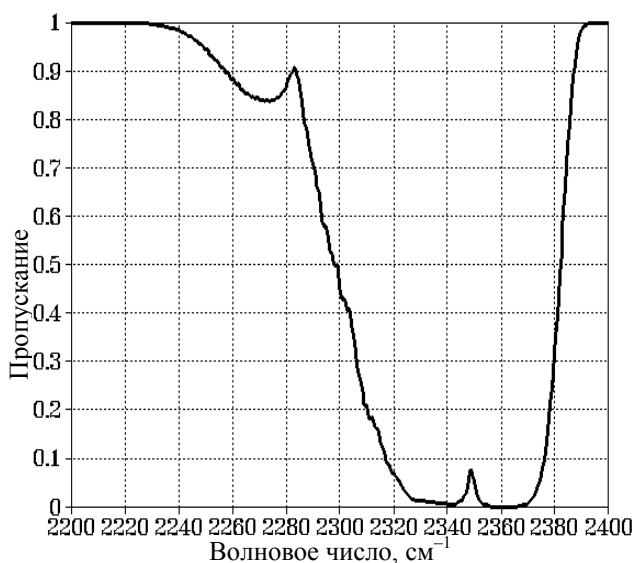
РАЗРАБОТКА ИНФРАКРАСНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИЗОТОПОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ($^{12}\text{CO}_2/^{13}\text{CO}_2$)

В статье описан макет инфракрасного газоанализатора для измерения отношений концентрации изотопов углекислого газа ($^{12}\text{CO}_2/^{13}\text{CO}_2$). Приведены данные об испытаниях макета на смесях с разным отношением концентраций изотопов.

Количественный анализ концентраций изотопов и отношения концентраций изотопов в последнее время широко применяется в науке и технике. Для примера можно упомянуть исследование отношения изотопов в геологии, гидрологии, медицине и других областях. На сегодняшний день основным методом исследования изотопов является масс-спектрометрия. Масс-спектрометрия имеет много достоинств — высокая точность измерений, малый объем пробы делают этот метод незаменимым во многих задачах. Но существует и существенный недостаток — высокая стоимость приборов, в том числе и стоимость владения, вследствие чего масс-спектрометры распространены недостаточно. Вместе с тем в ряде случаев количественный анализ концентраций изотопов и отношения концентраций можно осуществить методом абсорбционной инфракрасной спектроскопии. Известно о несовпадении колебательно-вращательных полос у изотопов некоторых газов в инфракрасной области спектра. Используя это обстоятельство, можно осуществить количественный анализ концентраций изотопов и отношения концентраций изотопов. Применение метода абсорбционной инфракрасной спектроскопии позволит расширить номенклатуру анализов и сделать их более доступными. Известно, что в воздухе нормальное распределение изотопов углекислого газа по долям составляет 98.420 % для $^{12}\text{CO}_2$, 1.106 % для $^{13}\text{CO}_2$ [1]. Углекислый газ имеет ряд сильных полос поглощения в инфракрасной области. Это — прежде всего полосы в районе 4.3 мкм, 2.7 мкм и группа полос в области от 11.4 мкм до 20.0 мкм. Методом "line—by—line" с использованием параметров линий HITRAN96 [2] были рассчитаны возможности отношения концентраций изотопов углекислого газа ($^{12}\text{CO}_2/^{13}\text{CO}_2$), определены мешающие факторы.

После предварительных расчетов оказалось, что для создания методики для измерения концентрации второго изотопа углекислого газа ($\text{C}^{13}\text{O}_2^{16}$) наиболее удобно использовать полосу поглощения с центром около 4.38 мкм. Она не перекрывается никакими другими газами и слабо перекрывается основным изотопом ($\text{C}^{12}\text{O}_2^{16}$). Таким образом, именно этот спектральный интервал целесообразно использовать.

На рисунке показан расчетный спектр углекислого газа в районе полосы 4.3 мкм. Длина кюветы



Расчетный спектр углекислого газа в районе полосы 4.3 мкм. Пояснение в тексте

10 см, концентрация $C^{12}O_2^{16}$ — 5 %, $C^{13}O_2^{16}$ — в сто раз меньше, 0.05 %. Аппаратная функция — гауссовская с шириной 2 см^{-1} .

Измеряя среднее пропускание в двух интервалах, например в интервале $2240\text{--}2280\text{ см}^{-1}$ (полоса поглощения $^{13}CO_2$) и в интервале $2360\text{--}2400\text{ см}^{-1}$ (полоса поглощения $^{12}CO_2$), можно определять концентрации $^{13}CO_2$ и $^{12}CO_2$, а также их отношение. Поглощение в данном интервале определяется только двумя изотопами углекислого газа, никаких мешающих факторов нет.

На основании проведенных расчетов во ФГУП "ВНИИМ им. Д. И. Менделеева" был разработан и создан макет прибора для определения отношения концентраций изотопов углекислого газа ($^{12}CO_2 / ^{13}CO_2$), в газовой смеси. В качестве источника излучения используется глобар, нагретый до температуры примерно $1400\text{ }^\circ\text{C}$, указанные интервалы длин волн вырезаются дифракционной решеткой. Излучение проходит кювету длиной 20 см и падает на приемник.

На макете были проведены исследования возможности определения концентраций изотопов углекислого газа ($^{12}CO_2$ и $^{13}CO_2$), а также их отношения. На двух смесях, отношения концентраций изотопов углекислого газа ($^{12}CO_2 / ^{13}CO_2$) которых отличаются на 2.4 %, что было подтверждено

масс-спектрометрическим анализом, были получены отношения концентраций газов, при этом использовалась численная градуировка макета. Полученное значение СКО отношения концентраций изотопов углекислого газа ($^{12}CO_2 / ^{13}CO_2$) (по двадцати измерениям) 0.9 % позволяет использовать макет прибора для различных применений, связанных с определением отношения концентраций изотопов углекислого газа ($^{12}CO_2 / ^{13}CO_2$). Вместе с тем для более точных задач необходима доработка макета прибора, наши исследования показывают, что вполне реально достичь СКО порядка 0.1 % по отношению концентраций изотопов углекислого газа ($^{12}CO_2 / ^{13}CO_2$).

ГНЦ ФГУП "ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева" (Конопелько Л.А., Румянцев Д.В.)

ООО "Мониторинг", Санкт-Петербург (Ильинский А.В.)

Материал поступил в редакцию 3.07.2003.

DEVELOPMENT OF AN IR GAS ANALYZER TO MEASURE CARBON DIOXIDE ISOTOPE ($^{12}CO_2 / ^{13}CO_2$) RATIOS

L. A. Konopelko, A. V. Plyinsky*, D. V. Romyantsev

*D.I. Mendeleev Institute of Metrology, Saint-Petersburg
ООО "Monitoring", Saint-Petersburg

The paper introduces a prototype IR gas analyzer for measurement of the carbon dioxide isotope ($^{12}CO_2 / ^{13}CO_2$) ratio. The results of device testing with mixtures of various isotopic concentrations are given.