

УДК 535.853.4

МИЛЛИМЕТРОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР РАД С ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ СИНТЕЗАТОРОМ ОПОРНЫХ ЧАСТОТ И ИССЛЕДОВАНИЕ СДВИГА ЛИНИИ H_2CO

*Ю. И. Алехин, Г. М. Альтшуллер, Н. Ф. Зобов, Е. Н. Калякин,
М. И. Кириллов, А. Ф. Крупнов*

Приведено описание спектрометра 4-миллиметрового диапазона с твердотельной системой синтеза опорных частот — синтезатором СВЧ. Применение синтезатора СВЧ позволило получить компактную легко автоматизируемую систему стабилизации и измерения частоты источника излучения с параметрами, обеспечивающими решение всех основных задач микроволновой молекулярной спектроскопии в 4-миллиметровом диапазоне. С помощью созданного спектрометра проведено измерение параметров сдвига и уширения линии $1_{01}-0_{00}$ H_2CO давлением формальдегида, равных соответственно $\Delta\nu_e = +4,8 \pm 0,3$ МГц/Тор и $\Delta\nu_y = -27 \pm 3$ МГц/Тор. Обсуждаются некоторые возможные применения спектрометра.

Микроволновая спектроскопия в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн решает ряд задач исследования структуры и свойств молекул и молекулярного химического анализа [1-4]. Системы точного управления частотой и измерения частоты спектроскопических источников излучения в миллиметровом и субмиллиметровом микроволновых спектрометрах, позволяющие определить точное (от 10^{-8} и лучше) положение спектральных линий и проводить исследования с большой разрешающей способностью, являются до настоящего времени наиболее сложной в обращении и наименее надежной частью таких спектрометров. Дальнейшее развитие микроволновых спектроскопических исследований и практических применений микроволновой спектроскопии требует создания современных компактных, удобных в обращении и легко автоматизируемых систем точного управления частотой источников излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов с гарантированными спектральными и точностными параметрами. Такие системы будут иметь и более широкий, нежели чисто спектроскопический, круг применений в этих интенсивно осваивающихся диапазонах. В настоящей работе описывается микроволновой спектрометр 4-миллиметрового диапазона длин волн с твердотельной системой синтеза опорных частот (синтезатором СВЧ) и приводятся первые результаты исследований с его помощью.

1. Аппаратура. Блок-схема спектрометра РАД 4-миллиметрового диапазона с синтезатором СВЧ приведена на рис. 1. Излучение 4-миллиметровой ЛОВ пронизывает заполненную исследуемым газом поглощающую ячейку с акустическим приемником, воспринимающим сигнал от мощности, поглощенной газом на частотах линий поглощения [5]. Частота ЛОВ стабилизирована по гармонике опорного сигнала, получающейся на умножителе-смесителе, системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Опорный сигнал создается твердотельным синтезатором СВЧ. Для удобства амплитуда или частота излучения ЛОВ мо-

делируется и принимается лишь переменная составляющая давления газа с частотой модуляции 180 Гц. Ячейка спектрометра, акустический приемник и кольцо ФАПЧ 4-миллиметровой ЛОВ по опорному сигналу аналогичны использовавшимся ранее [5]. Существенно новым элементом спектрометра является синтезатор СВЧ сантиметрового диапазона, краткое описание которого дается ниже.

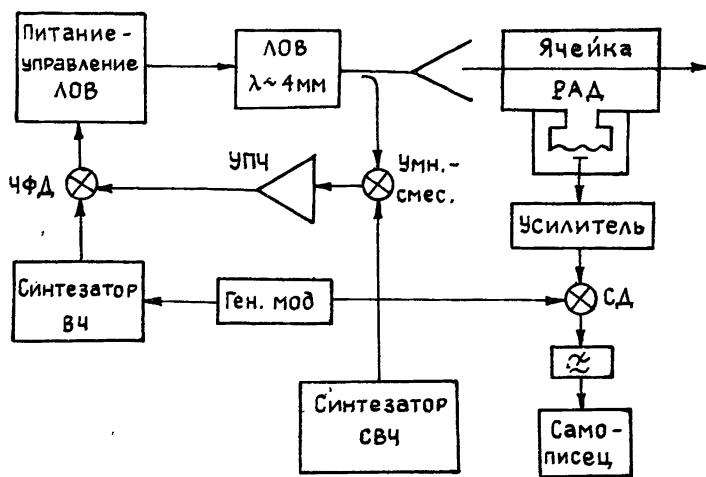


Рис. 1.

Синтезатор СВЧ обеспечивает генерирование высокостабильного по частоте электрического сигнала в диапазоне 1,0—17,85 Гц и состоит из базового блока и набора вставных блоков СВЧ, перекрывающих указанный диапазон. Базовый блок преобразует команды управления в управляющие сигналы, подающиеся на блоки СВЧ, и формирует спектрально чистое колебание частоты 100 МГц и колебание 80—120 МГц, изменяемое с шагом 40 кГц или 4 Гц в зависимости от модификаций и необходимое для синтеза частоты СВЧ колебания. СВЧ блоки содержат твердотельные СВЧ генераторы, стабилизированные системами ФАПЧ по соответствующему синтезированному по частоте колебанию. В настоящей работе нами использовался вставной блок СВЧ диапазона 8—12 Гц. Особенностями синтезатора, благоприятствующими его использованию в микроволновой спектроскопии, являются достаточно широкий диапазон частот, мелкий шаг перестройки частоты, низкий уровень фазовых шумов, практически не зависящий от значения выходной частоты, и возможность управления основными параметрами от ЭВМ по каналу общего пользования. Упрощенная схема синтезатора СВЧ приведена на рис. 2, основные характеристики его приведены в табл. 1, а общий вид синтезатора СВЧ показан на рис. 3.

Синтезатор СВЧ состоит из трех основных блоков, показанных на схеме рис. 2 пунктиром.

В блоке опорных частот из сигнала опорного генератора вырабатываются два опорных колебания с частотами 2 и 100 МГц. Опорным генератором может служить внутренний кварцевый генератор 5 МГц или внешний источник стабильных колебаний с частотами 1, 5 или 10 МГц (кварцевый либо квантовомеханический стандарт частоты). Для улучшения спектра колебания с частотой 100 МГц применен синхронизируемый кварцевый генератор, частота которого, узкополосной схемой ФАПЧ (с полосой пропускания 100 Гц) синхронизирована с гармоникой опорного генератора. При сохранении когерентности колебаний 5 и 100 МГц спектр последнего для отстроек от несущей более

Таблица 1

Основные характеристики синтезатора СВЧ

Наименование параметров	Значения параметров	Примечания
Диапазон частот, ГГц	1 — 2	Со сменными блоками
	2 — 4	
	4 — 8	
	8 — 12	
	12 — 18	
Шаг перестройки, кГц	100	В зависимости от модификации
	0,01	
Нестабильность частоты, дБ/в	$4 \cdot 10^{-11}$	С внутренним опорным генератором 5 МГц
за 1 с	$4 \cdot 10^{-10}$	
0,1 с	$1 \cdot 10^{-9}$	
0,01 с	$6 \cdot 10^{-8}$	
0,0001 с		
Выходная мощность, мВт	от 2 до 10	В зависимости от диапазона
Регулировка выходной мощности, дБ	от 0 до 70	
Уровень побочных составляющих относительно несущей, дБ гармонических	20	
негармонических	60	
Уровень фазовых шумов относительно несущей, дБ/Гц, при отстройке на	40	Форма спектра мощности колебания синтезатора близка к лоренцевской
100 Гц		
1 кГц		
10 кГц		
100 кГц		
Время переключения, мс		
через 1 МГц	18	
через 100 МГц	50	

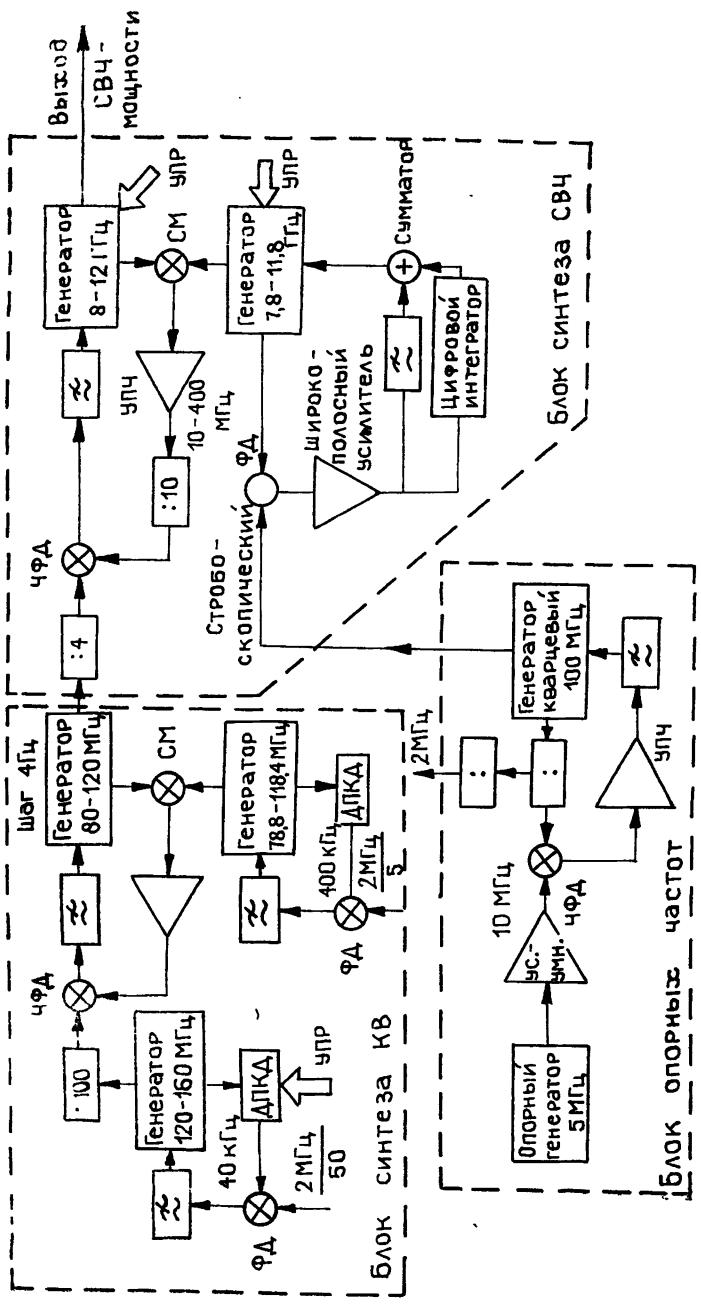


Рис. 2.

100 Гц определяется только спектром фазовых шумов кварцевого генератора 100 МГц, которые существенно меньше получавшихся при непосредственном умножении частоты колебания 5 МГц. Методика оптимизации такой системы ФАПЧ рассмотрена в [6]. Колебание с частотой 2 МГц получается путем деления сигнала с частотой 100 МГц цифровым делителем частоты.

Блок синтеза КВ диапазона имеет две модификации, различающиеся величиной шага изменения частоты, и состоит из комбинации колец ФАПЧ генераторов КВ диапазона с ЧФД [7] и фазовыми детекторами (ФД) типа «выборка-запоминание». При шаге изменения частоты 100 кГц используется одно кольцо ФАПЧ генератора с ФД типа «выборка-запоминание», работающее на пятой гармонике колебания опорной частоты. Для получения более мелкого шага перестройки применена схема, включающая три кольца ФАПЧ генераторов (см. рис. 2). Кольцо ФАПЧ генератора с ФД типа «выборка-запоминание» работает в диапазоне 120—160 МГц с шагом 40 кГц. Частота выходного сигнала делится делителем частоты в 100 раз, и полученное колебание используется как интерполяционное в суммирующем кольце ФАПЧ выходного генератора. Третье кольцо ФАПЧ генератора 78,8—118,4 МГц обеспечивает на выходе шаг изменения частоты 400 кГц путем изменения кода делителя с программируемым коэффициентом деления (ДПКД). Полоса пропускания колец ФАПЧ генераторов блока синтеза КВ диапазона лежит в пределах 5—20 кГц, т. е. на частотах, отстоящих от несущей более чем на 20 кГц, спектр шумов выходного сигнала содержит лишь шумы синхронизируемого генератора 80—120 МГц.

Блок синтеза СВЧ состоит из двух колец ФАПЧ генераторов на диодах Ганна, перестраиваемых изменением частоты резонатора с железо-иттриевым гранатом («ЖИГ-генераторы»). На выходное кольцо системы ФАПЧ генератора Ганна поступают два колебания: одно от генератора с частотой 80—120 МГц, а второе с частотой, кратной опорной частоте 100 МГц. Выбор нужного номера гармоники частоты 100 МГц, подавление ненужных гармоник этого колебания и транспортирование частоты в СВЧ диапазон осуществляется вспомогательным кольцом ФАПЧ второго генератора Ганна со стробоскопическим ФД и устройством поиска в виде цифрового интегратора [8].

Высокая добротность резонатора ЖИГ-генератора позволяет получить практически постоянный уровень фазовых шумов на частотах вплоть до 18 ГГц. На частотах, отстоящих от несущей на величину, большую полосы пропускания выходного кольца ФАПЧ (порядка 100 кГц), фазовые шумы не зависят от коэффициента умножения частоты опорного генератора 5 МГц. Выбор полос пропускания колец ФАПЧ в синтезаторе СВЧ выполнен согласно условию получения оптимальных шумовых характеристик сигнала [6].

Разработанный синтезатор СВЧ может применяться и в других различных автоматизированных радиотехнических системах в качестве источника эталонного сигнала.

Синтезатор СВЧ связывается с кольцом ФАПЧ ЛОВ 4-миллиметрового диапазона с помощью смесителя-умножителя частоты, выполненного на точечном диоде. Мощность сигнала от синтезатора СВЧ порядка нескольких милливатт в 3-сантиметровом диапазоне вполне достаточно для получения сигнала биений 7-й или 8-й гармоники частоты синтезатора с колебанием 4-миллиметровой ЛОВ.

Модуляция колебания ЛОВ, необходимая для наблюдения спектральных линий в этой схеме спектрометра, осуществлялась различными способами. На рис. 4 приведена запись спектральной линии $1_{01} - 0_{00}$ молекулы формальдегида H_2CO , полученная при амплитудной модуля-

ции излучения ЛОВ, осуществляющейся механическим прерывателем на оси синхронного мотора. Шаг перестройки частоты был выбран 800 кГц для наглядности записи. Дискретная перестройка частоты осуществлялась при этом с помощью синтезатора СВЧ. Меньший шаг перестройки частоты получался при замещении источника колебания 80—120 МГц отдельным синтезатором ВЧ, либо при перестройке частоты опорного колебания в 4-миллиметровом кольце ФАПЧ.

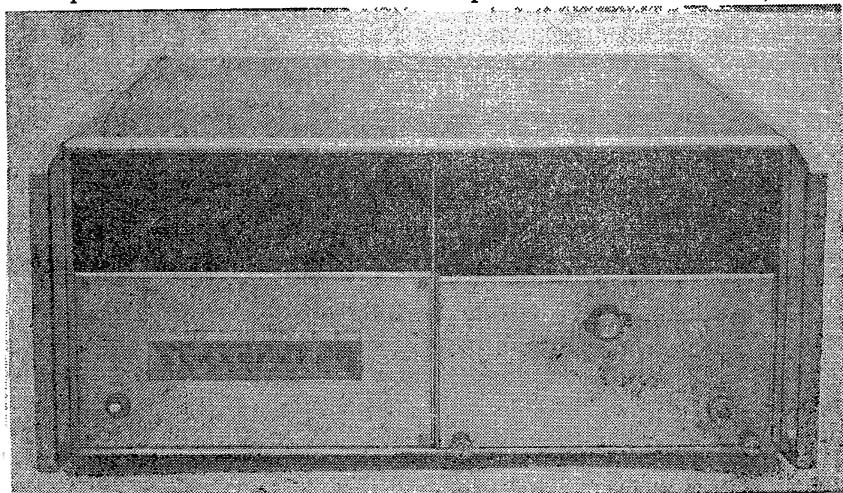


Рис. 3.

Замещение колебания 80—120 МГц в синтезаторе СВЧ частотно-модулированным колебанием, создаваемым соответствующим генератором, использовалось также для частотной модуляции излучения ЛОВ, применявшейся при определении частот центров спектральных линий.

Для контроля правильности работы всей системы в целом проводились измерения частот известных линий N₂O. Эти контрольные измерения показали совпадение измеренных и табулированных частот линий с точностью 0,2 МГц. Чувствительность спектрометра РАД с описанной системой управления частотой ЛОВ была обычной.

Проведенные измерения показали также, что точность управления частотой ЛОВ была существенно выше, нежели точность измерения частот спектральных линий. Преобладающим источником ошибок при измерении частот линий в 4-миллиметровом диапазоне явилось наличие частотных зависимостей как мощности ЛОВ, так и характеристик тракта СВЧ, включая ячейку. Наблюдение спектральных линий на склонах частотных зависимостей тракта и ЛОВ приводило, естественно, к смещениям наблюдающегося центра спектральной линии. Величина этой ошибки могла достигать для широких линий сотен килогерц и значительно уменьшалась при установке между рупором ЛОВ и ячейкой фильтра СВЧ и использовании поглотителя для уменьшения отражений от фланца поглощающей ячейки. Для повышения точности измерений поглощения спектральных линий, таким образом, необхо-

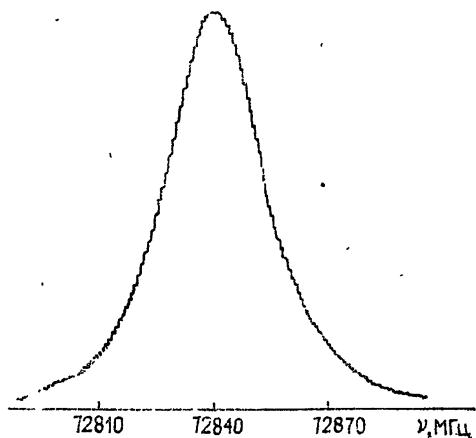


Рис. 4.

димо в первую очередь улучшение равномерности частотных характеристик миллиметрового тракта СВЧ, включая ЛОВ.

Созданный спектрометр был применен для исследования сдвигов спектральных линий молекул давлением газов.

2. Исследования. Одним из специфических применений спектрометра РАД с компактной автоматизированной системой точного управления частотой спектроскопического источника излучения может являться создание нового исследовательского и аналитического прибора — измерителя сдвигов частот «пробных» спектральных линий давлением исследуемых газов и газовых смесей. Сдвиг линий определяется в первом приближении средним дипольным моментом молекул газовой среды, а в последующих — высшими моментами молекул, их изотопическим составом и т. д. (см., например, [9, 10, 11]). Прибор, использующий способ измерения среднего дипольного момента молекул газовой среды [9], может применяться для изучения межмолекулярных взаимодействий, а также для «интегрального» анализа газов на присутствие полярных или неполярных примесей, появление молекулярных комплексов, других конформаций молекул и т. д. Такой метод анализа родствен известному методу рефрактометрического анализа, в котором также определяется интегральная характеристика исследуемого вещества. Необходимым этапом создания такого прибора является поиск подходящих спектральных линий для использования их в качестве «пробных». Требованиями к «пробным» линиям являются в первую очередь достаточно большой параметр сдвига и достаточная интенсивность, определяющие «чувствительность» линии, а также расположение ее в удобном для измерений частотном диапазоне. Нами с этой целью исследовалась линия нижнего вращательного перехода $1_{01} - 0_{00}$ молекулы формальдегида H_2CO , расположенная в 4-миллиметровом диапазоне длин волн. Исследование сдвига этой линии представляло интерес также для дальнейшего понимания явления сдвига давлением.

Молекула формальдегида H_2CO является легким слабо асимметричным волчком с большим дипольным моментом $\mu_a = 2,331(30)$ дебая [12]. Частота нижнего вращательного перехода $J+1 \leftarrow J$ ($1_{01} - 0_{00}$) молекулы $\text{H}_2^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ равняется $v_0 = 72837,974(24)$ МГц [12]. Сдвиги давлением миллиметровых линий формальдегида H_2CO исследовались ранее в [13], где изучались несколько семейств переходов с $K_{-1}=0$ ($J=2-1$, $J=3-2$), $K_{-1}=1$ ($J=2-1$, $J=3-2$, $J=4-3$) и $K_{-1}=2$ ($J=3-2$), а также несколько отдельных переходов с более высокими значениями J . В [13] были обнаружены довольно значительные сдвиги частот линий давлением формальдегида, доходившие до 2,47 МГц/Тор (переход $2_{12} - 1_{11}$). Данные [13] свидетельствовали также об общей тенденции к возрастанию измеренных величин сдвигов для каждого из семейств с убыванием квантового числа J . С этой точки зрения исследование линии $1_{01} - 0_{00}$ представлялось особенно перспективным как вращательного перехода с наименьшими значениями квантовых чисел. Сдвиг перехода $1_{01} - 0_{00}$ не был исследован в [13].

Представлялось интересным оценить возможную величину параметра сдвига давлением для перехода $1_{01} - 0_{00}$. К сожалению, расчеты в [13] приводили к теоретическим значениям сдвигов, отличавшимся от экспериментальных значений даже знаком эффекта. Вообще расчет сдвига давлением для переходов молекул типа асимметричного волчка признается сложным (см., например, [14]). Получение, тем не менее, хотя бы грубых оценок ожидаемого эффекта представлялось весьма желательным, и нами была сделана такая попытка полуэмпирической оценки сдвига этой линии. Мы исходили из предположения, что для «грубых» и кратковременных процессов, какими являются взаимодействия моле-

кул при соударениях (приводящие к уширению и сдвигу линий), можно попытаться распространить результаты, полученные ранее при изучении уширения и сдвига аналогичных линий молекул типа симметричного волчка, и на слабо асимметричные волчки, к которым относится молекула формальдегида. Критерием применимости такого подхода в рамках простой модели [10] должна явиться, по-видимому, малость изменения ориентации дипольных моментов молекул за время соударения. Соответствующие оценки для ряда асимметричных волчков приведены в [10]. В применении к формальдегиду оценка времени соударения дает $\tau \approx 2,4 \cdot 10^{-12}$ с. Это время меньше периода вращения молекулы-поглотителя $1(B+C) \approx 1,4 \cdot 10^{-11}$ с, и «условие медленности» в этом случае выполняется. Скорость же изменения ориентации возмущающих молекул, т. е. их отличие от молекул типа симметричного волчка, будет определяться, в сущности, величиной K -расщепления вращательных уровней, которая резко убывает с ростом квантового числа K_{-1} [12, 15]. При усреднении по ансамблю заселенных при комнатной температуре вращательных уровней формальдегида доля уровней с заметным K -расщеплением оказывается весьма малой, и можно надеяться на удовлетворительную применимость для этого случая результатов, полученных ранее для симметричных волчков [10, 11]. Аналогом перехода $1_{01} - 0_{00}$ H_2CO в симметричных волчках является переход $J=1-0$, исследовавшийся в числе прочих в [10, 11]. Наиболее надежным для оценок представляется метод экстраполяции величин сдвигов к наименьшим значениям J и K экспериментальных величин сдвигов других линий H_2CO [13] с использованием полученных нами ранее зависимостей сдвигов линий симметричных волчков от квантовых чисел J и K [10, 11].

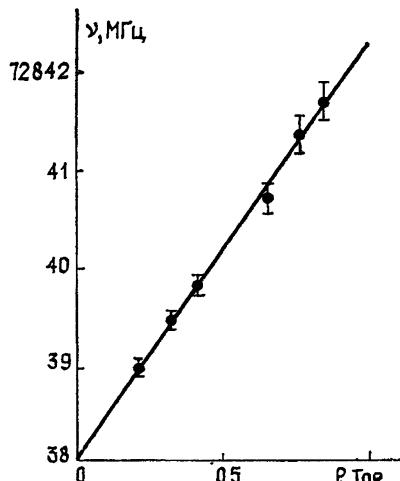


Рис. 5.

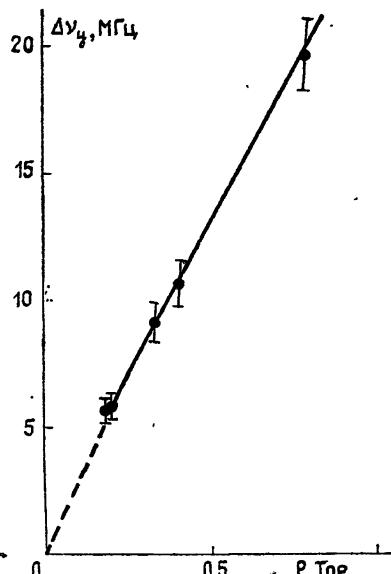


Рис. 6.

Используя данные [13] для переходов с наибольшими значениями параметров сдвигов ($2_{02} - 1_{01}$, $2_{12} - 1_{11}$, $2_{11} - 1_{10}$), можно оценить усредненную ожидавшуюся величину параметра самосдвига перехода $1_{01} - 0_{00}$ как $\Delta\nu_c = +5.2 \text{ MHz/Torr}$ с усредненным разбросом около 12%. Отметим значительную ошибку измерения параметров сдвигов в [13], несомненно дающую вклад в определенный выше разброс данных. Ожидаемая величина параметра сдвига линии $1_{01} - 0_{00}$ представляется значительной; ранее сдвиги такой величины в миллиметровом диапазоне не наблюдались.

Экспериментальная зависимость сдвига линии $1_{01} - 0_{00}$ давлением H_2CO , полученная с помощью описанного спектрометра, приведена на рис. 5, соответствующая зависимость уширения от давления — на рис. 6, а экспериментальные величины параметров самосдвига и самоуширения спектральной линии $1_{01} - 0_{00}\text{H}_2^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ давлением формальдегида, полученные в настоящей работе, приведены в табл. 2.

Таблица 2

$\Delta\nu_0$	$+4,8 \pm 0,3 \text{ МГц/Тор}$
$\Delta\nu_y$	$27 \pm 3 \text{ МГц/Тор}$

($\Delta\nu_y$ определяется как полуширина линии по уровню половинной интенсивности).

Рассмотрение полученных результатов показывает, что экспериментальная величина параметра самосдвига согласуется с полученной из предварительных оценок практически с точностью эксперимента (как настоящей работы, так, разумеется, и [13]) — 8%, что свидетельствует как о достаточной надежности результатов [10, 11, 13], так и о соответствии рабочих представлений о механизме сдвига линий физической сущности явления.

Таким образом, результатом настоящей работы является создание микроволнового спектрометра РАД 4-миллиметрового диапазона с твердотельной системой синтеза опорных частот — синтезатором СВЧ. Высокая и гарантированная стабильность частоты и спектральная чистота колебания СВЧ синтезатора во всем рабочем диапазоне полностью обеспечивают решение всех основных задач микроволновой молекулярной спектроскопии высокого разрешения в 4-миллиметровом диапазоне. Применение синтезатора СВЧ резко уменьшает габариты прибора, упрощает обращение с ним и повышает производительность спектроскопических исследований. Спектрометр может применяться для регулярных спектроскопических исследований, а также служить основой для разработки усовершенствованного варианта промышленного спектрометра РАД [16] и специализированного спектрометра для измерения сдвигов линий давлением газов с целью исследования свойств молекул, межмолекулярных взаимодействий и химического анализа. Нами планируется в дальнейшем расширение частотного диапазона описанного спектрометра на субмиллиметровую область длин волн.

С помощью созданного спектрометра проведено исследование сдвига и уширения линий формальдегида H_2CO давлением формальдегида. Исследование позволило распространить закономерности сдвигов, изученные на молекулах типа симметричных волчков, также и на слабо асимметричные молекулы, к которым относится молекула формальдегида. Предсказанный знак параметра сдвига для перехода $1_{01} - 0_{00}$ совпадает с измеренным. Предсказанная величина параметра сдвига для того же перехода совпадает с измеренной в пределах ошибки эксперимента. Эти результаты свидетельствуют о правильности основных представлений о механизме возникновения эффекта сдвига линий давлением. Измеренная величина параметра сдвига линии $1_{01} - 0_{00}$ является наибольшей из измеренных в настоящее время в миллиметровом диапазоне длин волн, что подтверждает возможность использования ее в качестве «пробной» для исследования свойств молекул, межмолекулярных взаимодействий и интегрального химического анализа по сдвигу ее частоты давлением исследуемых газов,

ЛИТЕРАТУРА

1. Gordy W.—J. Mol. Struct., 1983, **97**, p. 17.
2. Winnepiesser M.—J. Mol. Struct., 1982, **80**, p. 505.
3. Крупнов А. Ф.—Вестник АН СССР, 1978, № 7, с. 18.
4. Крупнов А. Ф.—Изв. АН СССР, Сер. физ., 1984, **48**, с. 732.
5. Вальдов А. Н., Герштейн Л. И., Калякин Е. Н., Крупнов А. Ф., Масловский А. В.—ПТЭ, 1974, № 5, с. 110.
6. Алексин Ю. И., Альтшуллер Г. М., Кириллов М. И.—Техника средств связи, Сер. Радиоизмерительная техника, 1984, вып. 1, с. 10.
7. Алексин Ю. И. Авторское свидетельство № 574864.—Бюл. изобрет., 1977, № 36, с. 158.
8. Кириллов М. И.—Техника средств связи, Сер. Радиоизмерительная техника, 1982, вып. 1(40), с. 6.
9. Белов С. П., Крупнов А. Ф., Мельников А. А., Скворцов В. А. Авторское свидетельство № 1061013.—Бюл. изобрет., 1983, № 46, с. 156.
10. Belov S. P., Krupnov A. F., Markov V. N., Melnikov A. A., Skvortsov V. A., Tretyakov M. Yu.—J. Mol. Spectrosc., 1983, **101**, p. 258.
11. Belov S. P., Kazakov V. P., Krupnov A. F., Markov V. N., Melnikov A. A., Skvortsov V. A., Tretyakov M. Yu.—J. Mol. Spectrosc., 1982, **94**, p. 264.
12. Johnson D. K., Lovas F. J., Kirchoff W. H.—J. Phys. Chem. Ref Data, 1972, 1, p. 1011.
13. Nerf R. B.—J. Mol. Spectrosc., 1975, **58**, p. 451.
14. Buffa G., Tarrini O.—J. Mol. Spectrosc., 1983, **101**, p. 271.
15. Таунс Ч., Шавлов А. Радиоспектроскопия.—М.: ИЛ, 1959.
16. Крупнов А. Ф., Герштейн Л. И., Забурдаев А. Н., Зобков С. Н., Пихтелев А. И., Халтурин Б. А. Тезисы докладов VI Всесоюзного симпозиума по молекулярной спектроскопии. Ч. 2.—Томск: 1982, с. 234.

Институт прикладной физики
АН СССР

Поступила в редакцию
4 декабря 1984 г.

A MILLIMETER-WAVE RAD SPECTROMETER USING A SOLID-STATE REFERENCE FREQUENCY SYNTHESIZER AND STUDY OF H₂CO PRESSURE LINE SHIFT

*Yu I Alekhin, G. M. Al'tshuller, N.F. Zobov, E N. Karyakin,
M. I. Kirillov, A F. Krupnov*

A four-millimeter wave RAD spectrometer with a solid-state system of reference frequency synthesis (a microwave synthesizer) is constructed. The use of a microwave synthesizer permitted us to make a compact, easily automatized system of lock-in frequency of radiation source control and measurements, which has parameters good enough to cover all basic needs of microwave spectroscopy in the four-millimeter wave band. The spectrometer was used for the measurement of pressure line shift and broadening of H₂CO 1₀₁ ← 0₀₀ line. The parameters obtained are equal to Δv_s = -4.8 ± 0.3 MHz/Torr for line shift and Δv_b = 27 ± 3 MHz/Torr for line broadening. Some possible applications of the spectrometer are discussed.