

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

# ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

5

МОСКВА • 1974

# ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО РАДИОСПЕКТРОСКОПА С ЛАМПОЙ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ И АКУСТИЧЕСКИМ ДЕТЕКТОРОМ

А. Н. ВАЛЬДОВ, Л. И. ГЕРШТЕЙН, Е. Н. КАРЯКИН,  
А. Ф. КРУПНОВ, А. В. МАСЛОВСКИЙ

Сообщается о повышении разрешающей способности газового субмиллиметрового радиоспектроскопа с л.о.в. и акустическим детектором (РАД, [1]) до предельной, определяющейся доплеровским уширением линий ( $2 \cdot 10^{-6}$ ); о повышении точности измерения частот спектральных линий в РАД до  $2 \cdot 10^{-7}$  и о получении (впервые) записей субмиллиметровых спектров газов с высокой разрешающей силой и точными отметками частоты в непрерывном диапазоне шириной до 3 ГГц на частотах до 500 ГГц ( $\lambda = 0,6$  мм).

Улучшение параметров РАД достигнуто путем использования автоподстройки частоты л.о.в. [2], аналогично [3], по стабильному опорному сигналу, получавшемуся при помощи цепочки умножения частоты, аналогичной [4], от опорного генератора в радиодиапазоне. Перестройка и модуляция частоты л.о.в. при этом производилась путем перестройки и модуляции частоты этого опорного генератора. Частота опорного генератора измерялась электронно-счетным частотомером. Ширина спектра излучения л.о.в. не превышала  $0,1 \div 0,2$  МГц. Блок-схема РАД со стабилизированным по

частоте источником излучения приведена на рис. 1.

На рис. 2, 3 приведены образцы записей спектров при помощи РАД со стабилизированной по частоте л.о.в. На рис. 2 приведена запись перехода  $N_2O$   $I = 18 \rightarrow 19$  в диапазоне 477 ГГц при механической перестройке частоты опорного генератора. Запись осуществлялась во второй газовой ячейке РАД (3 рис. 1), давление  $N_2O$  в которой составляло  $\sim 1$  тор. На пути излучения находилась первая газовая ячейка РАД, заполненная также  $N_2O$  при давлении  $\sim 0,1$  тор. Поглощение излучения в

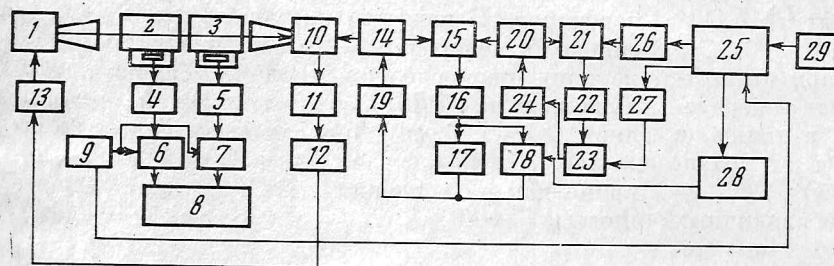


Рис. 1

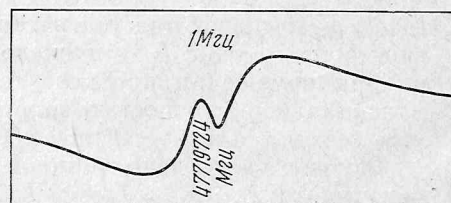


Рис. 2

Рис. 1. Блок-схема радиоспектроскопа со стабилизированной л.о.в. 1 — субмиллиметровая л.о.в.; 2, 3 — газовые ячейки РАД с микрофонами; 4, 5 — микрофонные схемы с усилителями 180 гц; 6, 7 — синхронные детекторы; 8 — двухперьевой самописец; 9 — генератор модулирующего напряжения 180 гц; 10 — умножитель-смеситель системы стабилизации частоты субмиллиметровой л.о.в.; 11 — усилитель промежуточной частоты 63 Мгц; 12 — частотный детектор; 13 — блок питания и управления частотой субмиллиметровой л.о.в.; 14 — л.о.в. 4-мм диапазона; 15 — умножитель-смеситель системы стабилизации частоты 4-мм л.о.в.; 16 — усилитель промежуточной частоты 10 Мгц; 17 — частотный детектор; 18 — фазовый детектор; 19 — блок питания и управления частотой 4-мм л.о.в. 20 — клистрон 3-см диапазона; 21 — умножитель-смеситель системы стабилизации частоты 3-см клистрона; 22 — усилитель промежуточной частоты  $f_{o.r}/2$ ; 23 — фазовый детектор; 24 — блок питания и управления частотой 3-см клистрона; 25 — опорный генератор  $f_{o.r}$ , перестраиваемый в пределах  $104 \div 108$  Мгц; 26 — умножитель частоты  $f_{o.r} \times 2$ ; 27 — делитель частоты  $f_{o.r}/2$ ; 28 — электронно-счетный частотомер, измеряющий частоту опорного генератора  $f_{o.r}$ ; 29 — мотор перестройки частоты опорного генератора (частота может управляться вручную)

Рис. 2. Запись перехода  $I = 18 \rightarrow 19$   $N_2O$  в районе  $\lambda = 0,63$  мм, полученная при помощи РАД со стабилизированной по частоте л.о.в. В центре линии провал, обусловленный поглощением в первой ячейке; ширина провала 1 Мгц



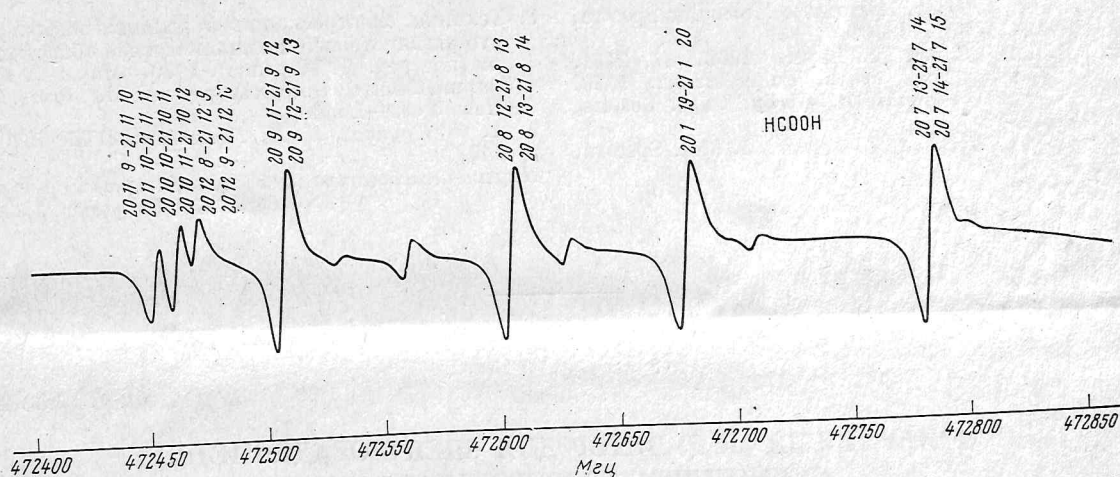


Рис. 3. Запись участка субмиллиметрового спектра НСООН в районе  $\lambda = 0,63$  мм, полученная при помощи РАД со стабилизированной по частоте л.о.в.

первой ячейке 2 приводило к образованию «провала» на записи линии поглощения во второй ячейке. Запись на рис. 2 воспроизводит первую производную от формы линии поглощения с «провалом» в центре. Ширина «провала» составляет 1 МГц, т. е. она практически равна доплеровской ширине линии  $N_2O$ , определяющейся из

$$\Delta\nu_d = 0,72 \cdot 10^{-6} (T/M)^{1/2} \nu_0,$$

где  $T$ ,  $M$  — абсолютная температура и молекулярный вес газа [5]. При  $T = 300$  К,  $M = 44$  и  $\nu_0 = 477$  ГГц  $\Delta\nu_d = 0,9$  МГц. Таким образом, впервые при помощи РАД достигнута предельная разрешающая сила газовых радиоспектроскопов, определяющаяся доплеровским уширением линии (если не применять нелинейных методик типа «провала Лэмба» [6]). На рис. 3 приведена запись участка субмиллиметрового спектра НСООН в диапазоне шириной 0,45 ГГц вблизи частоты 472 ГГц; на записи производились отметки частоты согласно показаниям электронно-счетного частотомера.

Точность измерения частот спектральных линий при стабилизации частоты л.о.в. ил-

Экспериментально измеренные частоты спектральных линий  $N_2O$

Обозначение линии	Эксперимент. частота, МГц	Расчетная частота, МГц	Разность, $\Delta - P$ , МГц
$I = 15 \rightarrow 16$	401 885,793	401 885,742	+0,051
$I = 16 \rightarrow 17$	426 991,784	426 991,747	+0,037
$I = 17 \rightarrow 18$	452 095,667	452 095,599	+0,068
$I = 18 \rightarrow 19$	477 197,241	477 197,167	+0,074

люстрируется таблицей, где приведены измеренные нами и рассчитанные по данным [7] частоты линий хорошо изученного спектра  $N_2O$ . Согласие измерений с расчетом находится в пределах  $2 \cdot 10^{-7}$ ; внутреннее согласие измерений существенно выше.

Таким образом, в настоящее время РАД, значительно превосходящий по чувствительности и широкодиапазонности прочие субмиллиметровые радиоспектроскопы [1, 8], не уступает лучшим из них по разрешающей силе и точности измерения частоты.

Создание системы прецизионного цифрового управления частотой субмиллиметровых л.о.в. при помощи синтезатора частоты и системы фазовой стабилизации частоты л.о.в. [9] позволит повысить разрешающую силу и точность измерений РАД еще на 1 ÷ 2 порядка (наприм., используя методику «провала Лэмба»).

Авторы благодарят А. В. Гапонова за внимание к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Крупнов, Л. И. Герштейн, В. Г. Шустров, С. П. Белов, Изв. вузов, Радиофизика, 1970, 13, 1403; С. П. Белов, А. В. Буренин, Л. И. Герштейн, В. В. Королизин, А. Ф. Крупнов, Оптика и спектроскопия, 1973, 85, 295; С. П. Белов, А. В. Буренин, Л. И. Герштейн, В. П. Казаков и др., Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, 285.
2. М. Б. Голянт, Р. Л. Виленкин, Е. А. Зюлин, З. Ф. Капун и др., ПТЭ, 1965, № 4, 136; М. Б. Голянт, З. Т. Алексеенко, З. С. Короткова, Л. А. Лукина и др., ПТЭ, 1969, № 3, 231.
3. А. Ф. Крупнов, Л. И. Герштейн, ПТЭ, 1970, № 159.
4. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, А. А. Синегубки, Изв. вузов, Радиофизика, 1968, 11, 1186; А. Ф. Крупнов, Л. И. Герштейн, ПТЭ, 1970, № 5, 130.

5. *W. Gordy, R. L. Cook, Microwave Molecular Spectra, Interscience, Wiley, 1970.*
6. *C. C. Costain, Canad. J. Phys., 1969, 47, 2431.*  
Ю. А. Дрягин, Изв. вузов, Радиофизика, 1970, 13, 141. *R. S. Winton, W. Gordy, Phys. Letters, 1970, 32A, 219.*
7. *R. Pearson, T. Sullisan, L. Frenkel, J. Mol. Spectra, 1970, 34, 440.*
8. Техника спектроскопии в дальней инфракрасной, субмиллиметровой и миллиметровой областях спектра (под ред. Д. Мартина), 1970, «Мир»; *C. Chantry, Submillimetre Spectroscopy. Acad. Press., 1971, New York—London.*
9. А. Ф. Крупнов, Л. И. Герштейн, ПТЭ, 1970, № 6, 143.

Научно-исследовательский радиофизический институт,  
Горький. Получено 28.XI.1973