

УДК 535.853.2

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СКАНИРУЮЩЕГО СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА РАД ПРИМЕНЕНИЕМ НЕНАСТРАИВАЕМОГО РЕЗОНАТОРА*

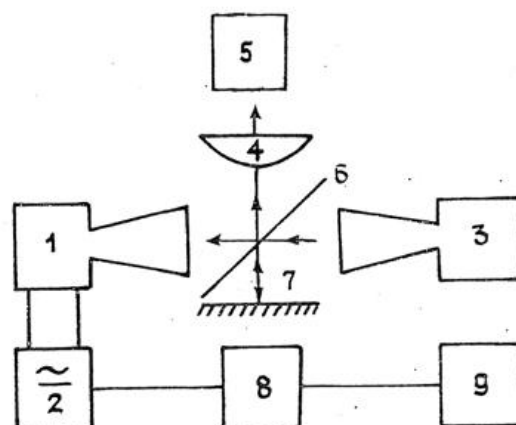
В. П. Казаков

Увеличение чувствительности радиоспектроскопа с акустическим детектором можно достигнуть несколькими способами. Например, в [1] был рассмотрен способ повышения чувствительности спектрометра РАД за счет увеличения мощности пронизывающего ячейку излучения, а в [2] — он был опробован в одной точке диапазона на длине волны $\lambda \approx 8$ мм. Однако мощность сканирующих когерентных источников субмиллиметрового диапазона весьма ограничена [3]. По этой причине для увеличения плотности мощности, поглощаемой молекулами, предпочтительно использовать многократное прохождение излучения через ячейку поглощения с фиксированной длиной $l \approx l_{\text{opt}}$.

Наибольшего увеличения чувствительности, по-видимому, можно достигнуть, применяя высокочастотный резонатор типа Фабри — Перо, но такой способ трудоемок из-за требования постоянной подстройки частоты резонатора для обеспечения широкодиапазонного сканирования. Наиболее простым и удобным методом повышения чувствительности в сканирующем режиме является использование большого по сравнению с длиной волны объемного неперестраиваемого резонатора.

Рис. 1. Упрощенная блок-схема спектрометра:

1 — объемный неперестраиваемый резонатор с исследуемым газом; 2 — акустический детектор, 3 — источник когерентного излучения, 4 — тefлоновая линза; 5 — частотно-измерительный комплекс, 6 — делитель мощности, 7 — вспомогательный отражатель, 8 — усилитель, 9 — регистрирующее устройство.



Объемный многомодовый резонатор представляет собой цилиндрическую медную ячейку $\varnothing 20$ мм, $l \approx 180$ мм с двумя фиксированными отражателями, в одном из которых имеется дифракционная связь $\varnothing 2$ мм. Упрощенная блок-схема установки, на которой производились исследования, приведена на рис. 1.

На рис. 2 представлены экспериментальные записи одного и того же перехода $J = 13 \rightarrow 14$ молекулы $^{14}\text{N}_2\text{O}^{16}$ при давлении в поглощающей ячейке $p \approx 1$ Тор, полученные при использовании ячейки проходного типа — рис. 2а и описанной выше резонаторной ячейки — рис. 2б. Как видно из сравнения рис. 2а, б, повышение чувствительности спектрометра РАД таким методом не сопровождается резкими резонансными эффектами, и по-прежнему возможно сканирование большого диапазона длин волн. Определенный в результате усреднения по многим переходам N_2O (сотни точек) в широком частотном интервале выигрыш по чувствительности благодаря применению ненастраиваемого резонатора составляет в среднем около 10 раз по сравнению с режимом однократного пропускания излучения через ячейку поглощения.

Повышение чувствительности сканирующего спектрометра позволило впервые методами РАД исследовать спектры молекул с коэффициентами поглощения $\alpha_{\text{max}} \sim 10^{-8} \text{ см}^{-1}$. Подтверждением служит запись участка спектра молекулы закиси азота (рис. 3) в возбужденно-колебательных состояниях 00^0_1 , 20^0_0 с колебательной энергией $E_{\text{кол}} \approx 2224 \text{ см}^{-1}$ и 2563 см^{-1} соответственно. Наивысшая чувствительность по минимально обнаружимому коэффициенту поглощения, определенная при условии $S/N = 1$, составляет $\gamma_{\text{min}} \approx 6 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-1}$ для данного экземпляра ЛОВ. Такое значение было реализовано для состояния 20^0_0 молекулы $^{14}\text{N}_2\text{O}^{16}$ с расчетной интенсивностью $\alpha_{\text{max}} \approx$

* Результаты данной работы частично докладывались на IV Всесоюзном симпозиуме по Молекулярной спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения (Новосибирск, 1978).

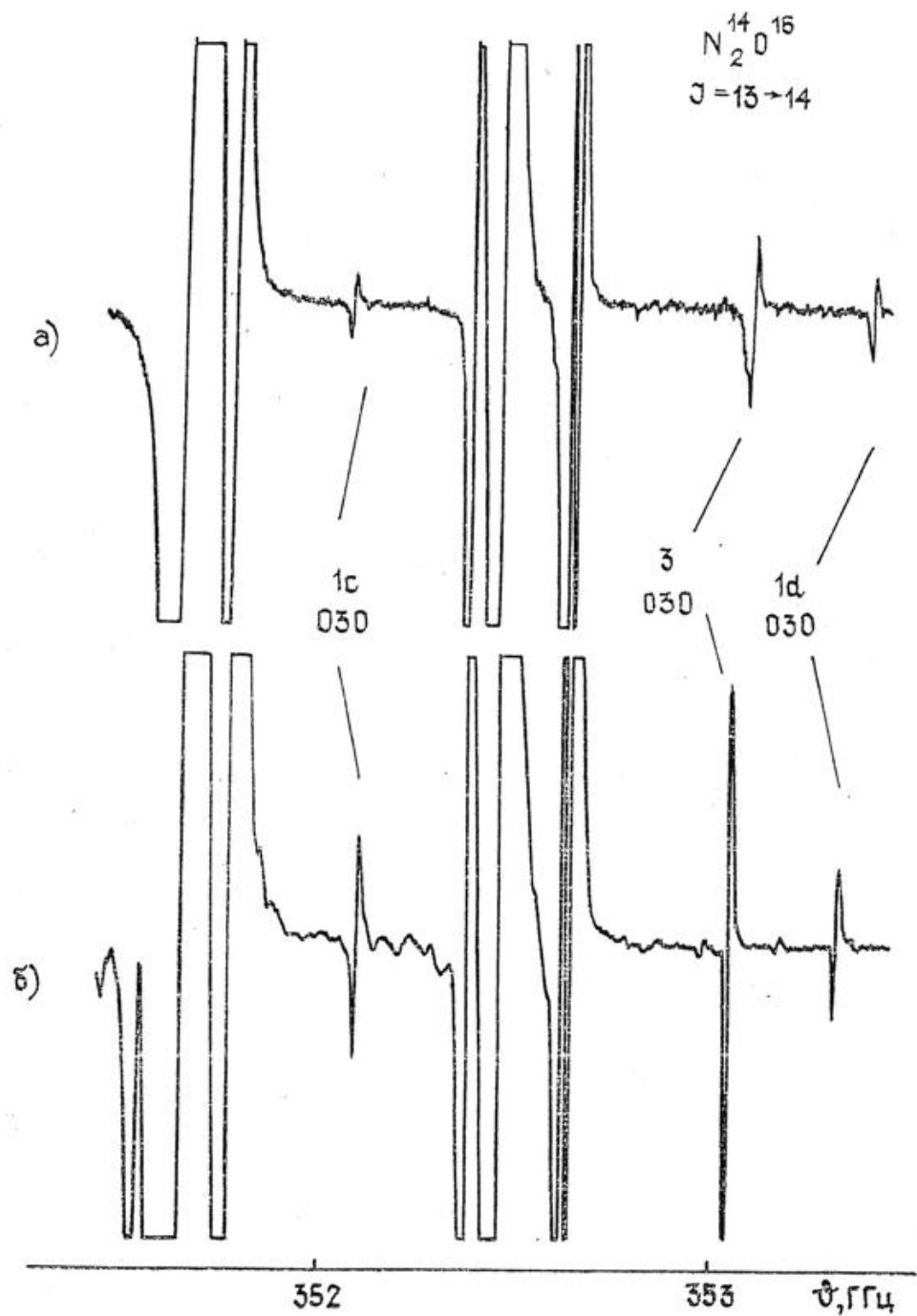


Рис. 2. Запись одного и того же перехода $J = 13 \rightarrow 14$ $^{14}\text{N}_2\text{O}^{16}$ на ячейке проходного типа а) и на резонаторной ячейке б), где усиление уменьшено в ~ 3 раза. Запись производилась в одинаковых условиях: при давлении в поглощающей ячейке $p \approx 1 \text{ Тор}$, $T \approx 300 \text{ К}$, при постоянной записи $\tau \approx 1 \text{ с}$, идентичных микрофонной схеме и акустическом детекторе, одной и той же ЛОВ.

$\approx 4 \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ в переходе $J = 13 \rightarrow 14$ на частоте $f \approx 349 \text{ ГГц}$. Отметим, что спектр молекулы N_2O удобно использовать для относительной калибровки и проверки чувствительности аппаратуры.

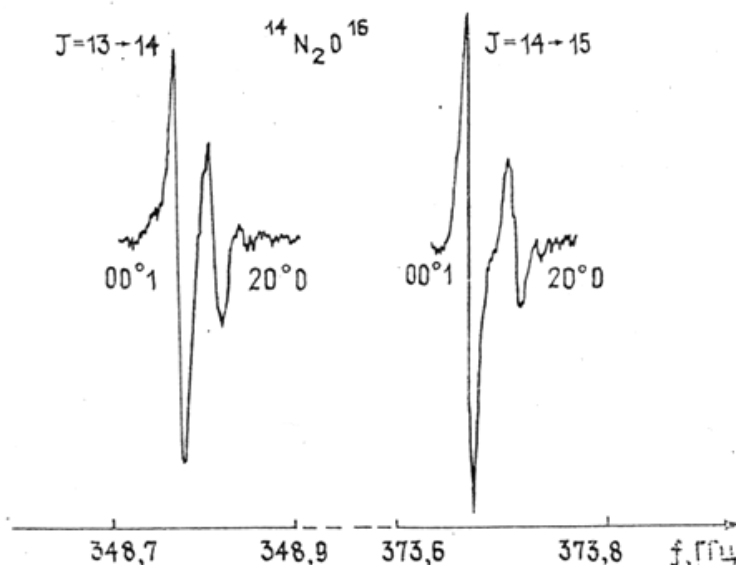


Рис. 3. Запись спектра слабых линий двух вращательных переходов основной изотопической комбинации N_2O в возбужденно-колебательных состояниях $00^\circ 1$, $20^\circ 0$ при $p \approx 1 \text{ Тор}$, $T \approx 300 \text{ К}$, $\tau \approx 1 \text{ с}$.

Достоинство предлагаемого метода заключается в том, что не требуется синхронной подстройки частоты ЛОВ и резонатора и увеличение чувствительности доступно, практически, во всем диапазоне сканирования $0,5 \text{ мм} \leq \lambda \leq 1,5 \text{ мм}$. Рассматриваемый метод может быть наиболее успешно применен при изучении спектров молекул со слабыми линиями, начиная с $\alpha_{\text{max}} \approx 10^{-6} \text{ см}^{-1}$, в частности, при исследовании запрещенных переходов и спектров молекул в возбужденно-колебательных состояниях, а также в химическом анализе летучих веществ особой чистоты на полярные примеси с малым процентным содержанием.

В заключение автор выражает признательность А. Ф. Крупнову за постоянное внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Крупнов, Л. И. Герштейн, В. Г. Шустров, С. П. Белов, Изв. вузов — Радиофизика, 13, № 9, 1403 (1970).
2. А. А. Антаков, С. П. Белов, Л. И. Герштейн, В. Л. Гинцбург, А. Ф. Крупнов, Письма в ЖЭТФ, 19, 634 (1974).
3. М. Б. Голант, Р. Л. Виленкин, Е. А. Зюлина, З. Ф. Каплун, А. А. Негирев, В. А. Парилов, Т. Б. Реброва, В. С. Савельев, ПТЭ, № 4, 136 (1965); № 3, 231 (1969).

Институт прикладной физики
АН СССР

Поступила в редакцию
11 ноября 1979 г.