

Спектроскопия насыщения поглощения.

Нелинейная лазерная спектроскопия в отличие от нелинейной оптики рассматривает явления в разреженных газах.

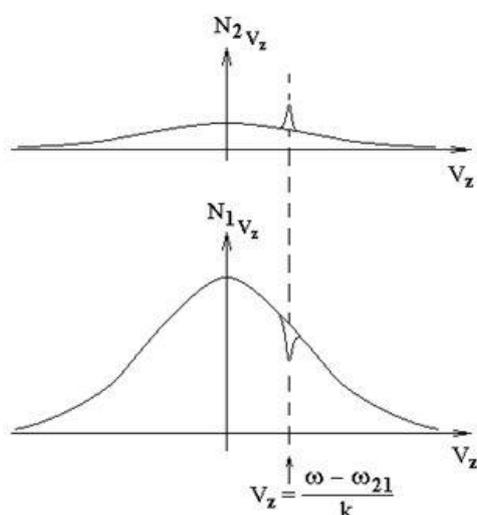
Метод насыщения поглощения — основной метод нелинейной лазерной спектроскопии.

Плоская монохроматическая световая волна взаимодействует не со всеми молекулами газа, а только с молекулами с определенной проекцией скорости на луч.

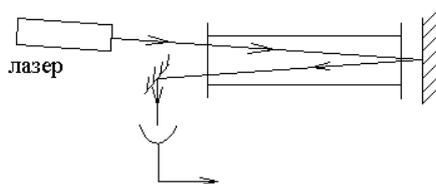


$$\omega - kV_z = \omega_{21}$$

Световая волна выжигает провал и пик Беннетта.



В традиционном варианте спектроскопии насыщения поглощения используются две встречные световые волны одинаковой частоты.

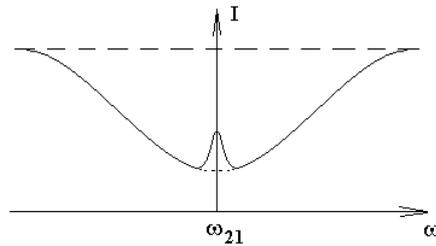


Встречные волны взаимодействуют с двумя наборами молекул

$$\omega - kV_z = \omega_{21}$$

$$\omega + kV_z = \omega_{21}$$

При этом зависимость мощности на приемнике света от частоты генерации лазера содержит резонанс насыщения поглощения.



Каждая спектральная линия формирует свой резонанс насыщения поглощения. Эти резонансы представляют собой, так называемый, спектр насыщения поглощения.

Чтобы увеличить спектральное разрешение ученые стремятся получить как можно более узкие резонансы. С этой целью уменьшают давление газа, мощность лазерного луча, увеличивают диаметр кюветы с газом, уменьшают температуру газа. Для рекордно узких резонансов диаметр кюветы оставляют не слишком большим и получают, так называемые, пролетные условия или условия селекции медленных молекул.

На молекуле OsO₄ на длине волны 10 мкм получены резонансы.

Appl. Phys. B 59, 333–343 (1994)

Ultrahigh-resolution saturation spectroscopy using slow molecules in an external cell

Ch. Chardonnet, F. Guernet, G. Charton, Ch. J. Bordé

Ultrahigh-resolution saturation spectroscopy using slow molecules

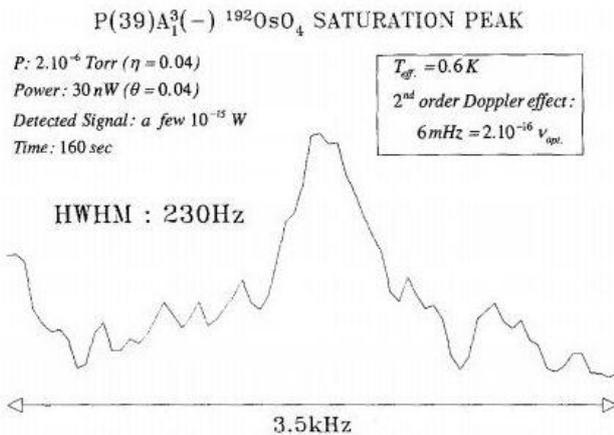


Fig. 11. Saturation signal for the ¹⁹²OsO₄ P(39)A₁³(-) line, for $\theta = \eta = 0.04$, detected by a high frequency modulation technique

Optical selection of slow molecules

FM : 65 Hz ; depth : 100 Hz
P: 3.10⁻⁶ Torr ($\eta = 0.06$)
Power : 30 nW
Time : 10 min

$T_{eff} = 1$ K
 2nd order Doppler effect :
 0.01 Hz = 3.10⁻¹⁶ v_{opt.}

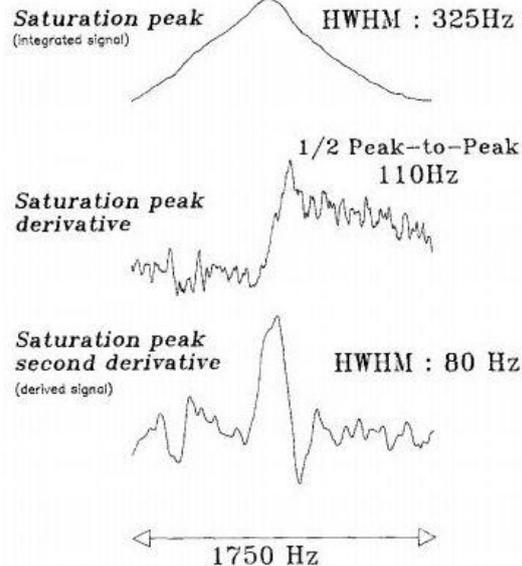


Fig. 12. Saturation signal for the ¹⁹²OsO₄ P(39)A₁³(-) line, for $\theta = 0.04$ and $\eta = 0.06$, detected by a double modulation technique (see text). The line shape is essentially the first derivative of the unmodulated line. The integrated and second-derivative signals are obtained numerically from the original first-derivative spectrum and illustrate the narrowing of the derivative line shapes

На молекуле CH₄ на длине волны 3.39 мкм получены резонансы.

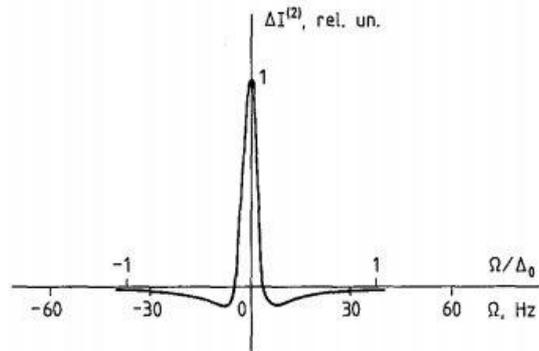
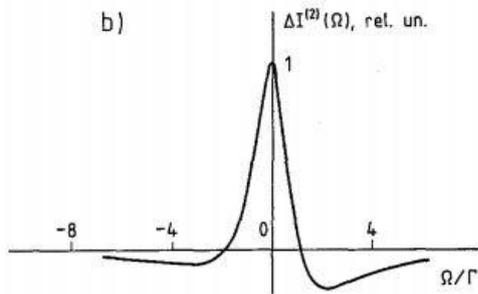
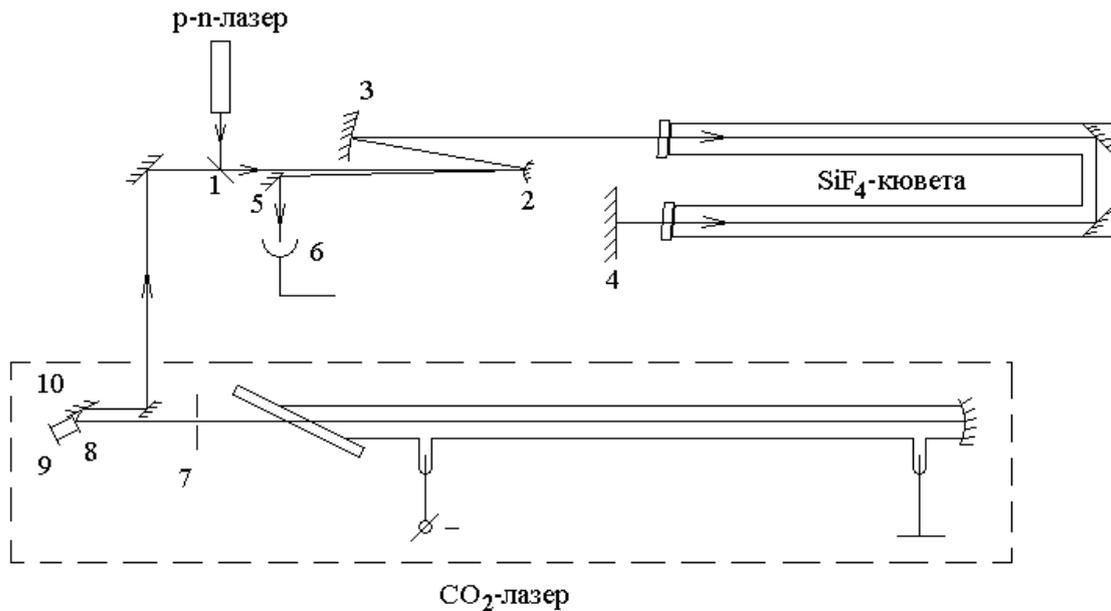


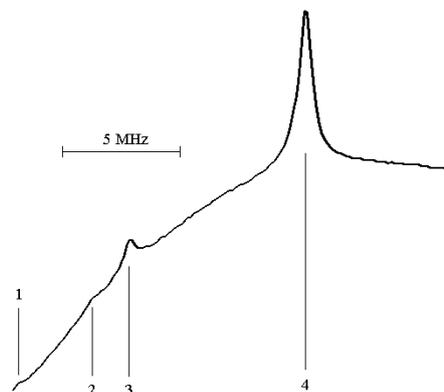
Fig. 4. Resonance shape in methane (second derivative) for one recoil component: pressure 2×10^{-7} Torr, $a = 15$ cm, $T_0 = 77$ K

Bagayev S.N., Chebotayev V.P., Dmitriyev A.K., Om A.E., Nekrasov Yu. V., Skvortsov B.N. Second-order Doppler-free spectroscopy. // Appl. Phys. B. 1991. V. 52. N. 1. P. 63-66.

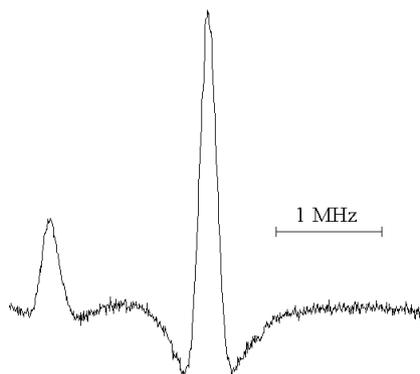
Оптическая схема моей экспериментальной установки. Брюстеровское окно; ирисовая диафрагма; дифракционная решетка; пьезокерамика; полупроводниковый лазер; телескопический расширитель луча; приемник, охлаждаемый жидким азотом.



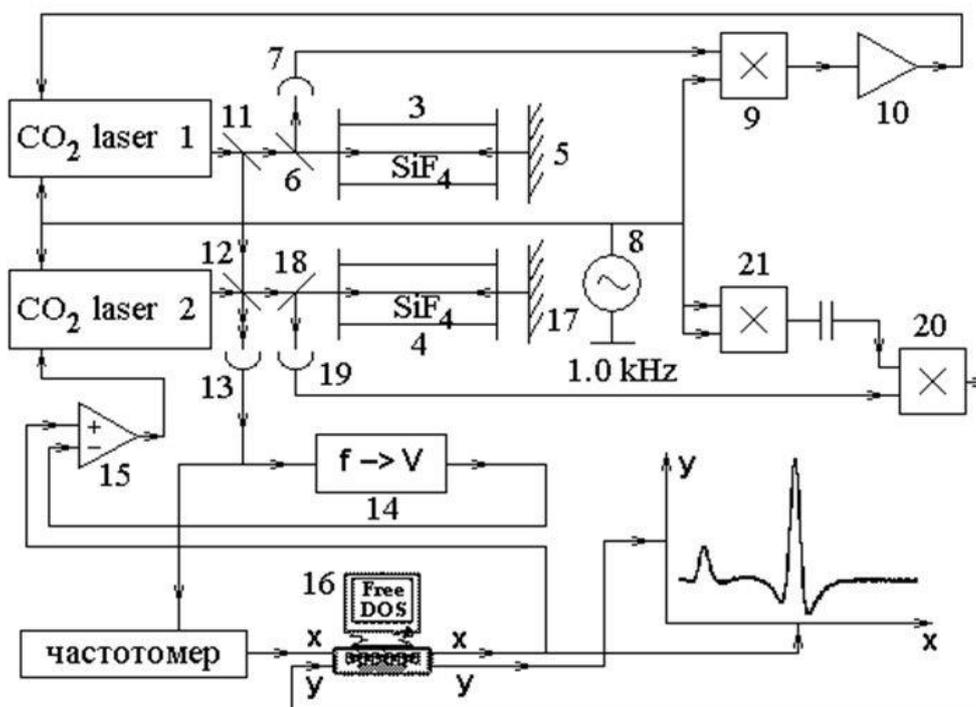
Пример экспериментальной кривой при быстром сканировании частоты генерации лазера.



Резонансы 2 и 3 на другой экспериментальной кривой при регистрации в режиме накопления сигнала.



На следующем рисунке приведена блок-схема моей экспериментальной установки.



Экспериментальная установка состоит из трех частей.

Первая часть — это опорный CO₂-лазер 1 и система его стабилизации. Излучение опорного лазера является частотным репером для контроля частоты перестраиваемого CO₂-лазера 2.

Вторая часть установки — это перестраиваемый по частоте генерации CO₂-лазер, излучение которого активно стабилизировано по частоте с регулируемой частотной отстройкой относительно частоты опорного лазера.

Третья часть установки — автоматизированная система регистрации резонансов насыщения поглощения в SiF₄ наблюдаемых в излучении перестраиваемого лазера.

Стабилизация опорного CO₂-лазера 1 происходит по нулю первой производной зависимости мощности света на приемнике 7 от частоты генерации лазера. Сигнал с приемника синхронно детектируется на частоте

модуляции частоты генерации лазера. После синхронного детектора на перемножителе 9, напряжение, сглаженное и усиленное усилителем 10, поступает на пьезокерамику лазера 1 для управления частотой его генерации.

Знак напряжения после синхронного детектирования зависит от того, на каком склоне резонанса находится частота генерации лазера. Система стабилизации удерживает частоту генерации опорного лазера на значении, которое соответствует нулю напряжения с синхронного детектора и соответствует вершине резонанса.

Пример зависимости мощности на приемнике 7 от частоты генерации лазера 1 приведен на следующем рисунке.

Частота генерации лазера 1 стабилизируется по резонансу 4.

Оптическая схема системы стабилизации CO₂-лазера 1 приведена на следующем рисунке.

Обсудим теперь работу второй части установки — системы привязки.

Источником сигнала для системы активной частотной привязки перестраиваемого CO₂-лазера 2 является приемник биений 13, на котором интерферирует излучение двух CO₂-лазеров. Частота биений двух лазеров с приемника 13 преобразуется в напряжение. Напряжение с выхода преобразователя 14 сравнивается на дифференциальном усилителе 15 с управляющим напряжением с компьютера 16 и после усиления подается на пьезокерамику CO₂-лазера 2 для управления частотой его генерации.

Система стабилизации частоты перестраиваемого лазера 2 автоматически удерживает частоту лазера 2 такой, чтобы разность напряжений на входах усилителя 15 оставалась равной нулю. При этом изменение напряжения с компьютера изменяет стабилизированную частоту лазера 2, что позволяет перестраивать его частоту с помощью компьютера.

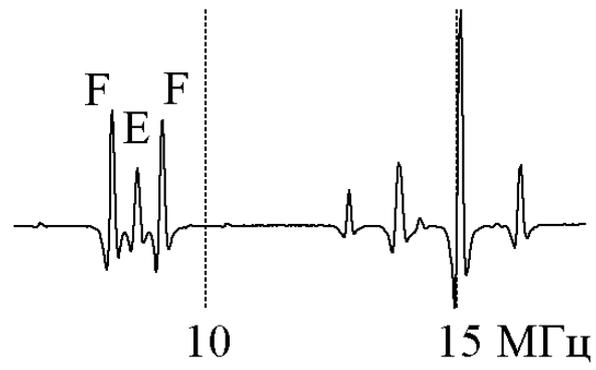
Система регистрации резонансов использует сигнал с приемника 19, на который излучение перестраиваемого лазера 2 попадает после двукратного прохождения кюветы 4 с исследуемым газом SiF₄. Электрический сигнал с приемника 19 синхронно детектируется перемножителем 20 на удвоенной частоте модуляции обоих CO₂-лазеров. Пример экспериментальной кривой с двумя резонансами насыщения поглощения представлен на предпоследнем рисунке.

При синхронном детектировании на удвоенной частоте модуляции сигнал на выходе перемножителя 20 пропорционален второй производной зависимости мощности света на приемнике 19 от частоты генерации CO₂-лазера 2. Эта же пара резонансов в зависимости мощности на приемнике 19 от частоты генерации лазера 2 видна на предыдущем рисунке, как пара резонансов 2 и 3.

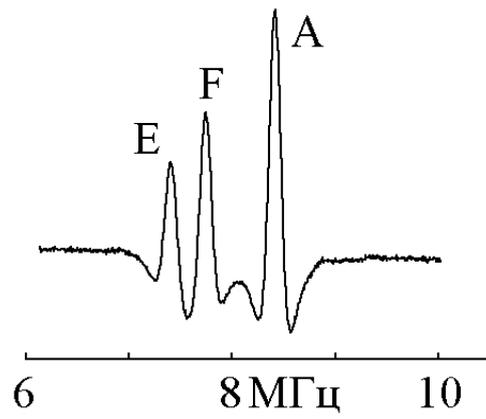
Как видно из сравнения двух рисунков, система накопления сигнала позволяет значительно увеличить отношение сигнал-шум.

В спектре насыщения поглощения симметричной молекулы SiF₄ наблюдаются характерные мультиплеты супертонкой структуры спектра.

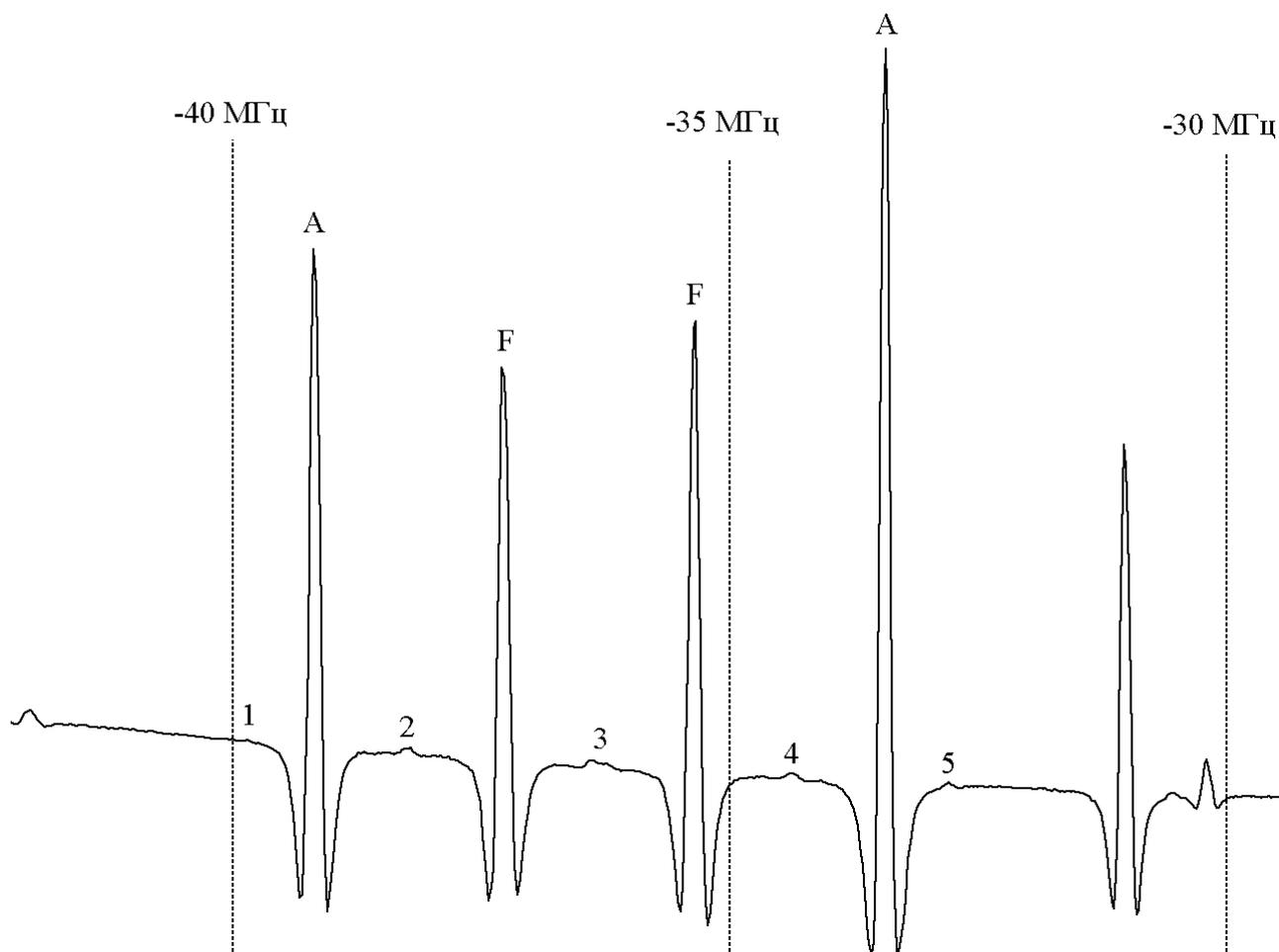
Мультиплет FEF.



Мультиплет AFE.



Мультиплет AFFA с соотношением амплитуд 5:3:3:5 и интервалов 1:1:1.



На экспериментальной кривой видны маленькие резонансы, обозначенные цифрами. Расположение этих малых резонансов выглядит не случайно.

Электронный спектр уровней энергии молекулы. Колебательный спектр, кориолисова структура спектра, вращательная структура, тонкая структура.