

## НАБЛЮДЕНИЕ АНОМАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ЗЕЕМАНА

### НА $F_2^{(2)}$ ЛИНИИ МЕТАНА

С.Н.Багаев, М.В.Беллев, А.К.Дмитриев,  
В.П.Чеботаев

Сообщается о первых наблюдениях аномального эффекта Зеемана на компонентах магнитной сверхтонкой структуры (МСТС) линии  $F_2^{(2)}$  метана ( $\lambda = 3,39$  мкм), асимметрии нелинейного резонанса в магнитном поле из-за влияния эффекта отдачи, об измерении сдвигов отдельных компонент МСТС в слабых магнитных полях.

1. В метане эффект Зеемана на  $F_2^{(2)}$  линии (переход  $P(7)$  полосы  $\nu_3$ ) впервые наблюдался в [1, 2] методами нелинейной лазерной спектроскопии. В [1] был измерен вращательный магнитный момент молекулы метана для основного и возбужденного колебательных уровней. В [2] был определен знак и более точно измерены величины  $g$ -факторов, в пределах ошибки совпадающие для обоих уровней. Ширина нелинейных резонансов в [1, 2] составляла  $\sim 10^5$  Гц, что позволяло проводить исследования при магнитных полях  $\sim 100$  Э и наблюдать только нормальный эффект Зеемана. В [3] была разрешена магнитная сверхтонкая структура (МСТС) линии метана с использованием телескопического расширителя пучка (ТРП) вне резонатора. Использование ТРП внутри

резонатора [4] позволило получить сравнительно интенсивные резонансы шириной  $\sim 1$  кГц. Это открыло возможность для изучения аномального эффекта Зеемана в слабых магнитных полях величиной  $1 \div 10$  Э, когда величина зеемановского расщепления уровней меньше интервалов МСТС<sup>1)</sup>.

В настоящей работе сообщается о первых исследованиях аномального эффекта Зеемана на  $F_2^{(2)}$  линии метана, о наблюдении нового эффекта — асимметрии нелинейного резонанса в магнитном поле из-за влияния эффекта отдачи и измерения сдвигов компонент МСТС метана в слабых магнитных полях.

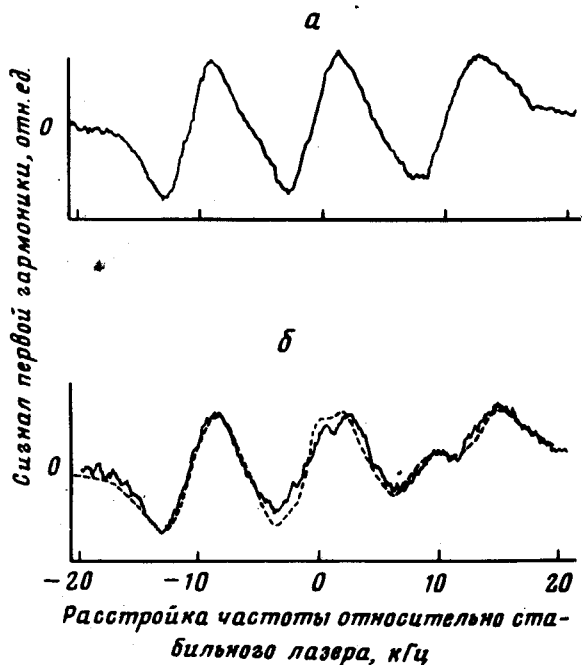


Рис.1. Запись магнитной сверхтонкой структуры  $F_2^{(2)}$ -линии метана при  $H = 0$  (а) и  $H = 5$  Э (б). Давление метана —  $3 \cdot 10^{-5}$  тор, частота модуляции — 800 Гц, амплитуда девиации — 300 Гц, постоянная интегрирования — 1 с, время записи — 5 мин. Пунктирная кривая — расчетная форма линии насыщенного поглощения метана,  $\Gamma = 2$  кГц,  $H = 7$  Э

2. Эксперименты были проведены с помощью  $He - Ne/CH_4$ -лазера на  $\lambda = 3,39$  мкм с телескопическим расширителем пучка (ТРП) внутри резонатора, конструкция и основные параметры которого детально описаны в [5]. Диаметр светового пучка в поглощающей ячейке  $\sim 14$  см позволял получать резонансы в метане шириной  $\sim 1$  кГц при давлении  $10^{-5}$  тор и наблюдать МСТС на линии  $F_2^{(2)}$  метана. Продольное магнитное поле напряженностью от 0 до 5 Э создавалось в поглощающей ячейке с помощью соленоида. Поляризация света в резонаторе была линейной. Регистрация формы компонент МСТС метана осуществлялась путем записи на самописце сигнала первой гармоники в мощности излучения при изменении частоты лазера с ТРП, которая измерялась относительно опорного стабилизируемого по частоте  $He - Ne/CH_4$ -лазера (см. [5]). На рис.1 представлены записи МСТС  $F_2^{(2)}$  линии метана в

<sup>1)</sup> Первые результаты по наблюдению аномального эффекта Зеемана в метане были сообщены авторами в [5].

отсутствие магнитного поля (рис.1, а) и в продольном магнитном поле напряженностью 5 Э (рис.1, б). Наложение магнитного поля на поглощающую ячейку приводит к изменению формы компонент сверхтонкой структуры. Высокочастотная компонента (переход  $F_1 \rightarrow F_2 = 8 \rightarrow 7$ , где  $F_1, F_2$  — полные моменты нижнего и верхнего уровней) расщепляется на величину  $\sim 3,5$  кГц, центральная компонента ( $7 \rightarrow 6$ ) уширяется на 1,5 кГц и становится асимметричной. Существенных изменений формы резонанса на переходе  $6 \rightarrow 5$  не наблюдается.

Относительно высокая интенсивность нелинейных резонансов на компонентах МСТС позволила стабилизировать частоту лазера с ТРП по максимуму каждого резонанса и измерить сдвиги отдельных компонент МСТС в магнитном поле с относительной точностью  $\sim 10^{-13}$ . Измерения сдвигов проводились при давлении метана  $6 \cdot 10^{-5}$  тор. В пределах ошибки измерений наблюдался квадратичный по магнитному полю сдвиг частоты для всех трех основных компонент сверхтонкой структуры. Сдвиг максимума резонанса на переходе  $6 \rightarrow 5$  происходило в синюю область на величину  $14 \pm 3$  Гц/Э<sup>2</sup>, а резонансы на переходах  $7 \rightarrow 6$  и  $8 \rightarrow 7$  сдвигались в противоположную сторону на  $19 \pm 4$  и  $25 \pm 15$  Гц/Э<sup>2</sup>, соответственно. Большая ошибка в определении сдвига высокочастотной компоненты МСТС обусловлена относительно большим расщеплением и уширением ее в магнитном поле.

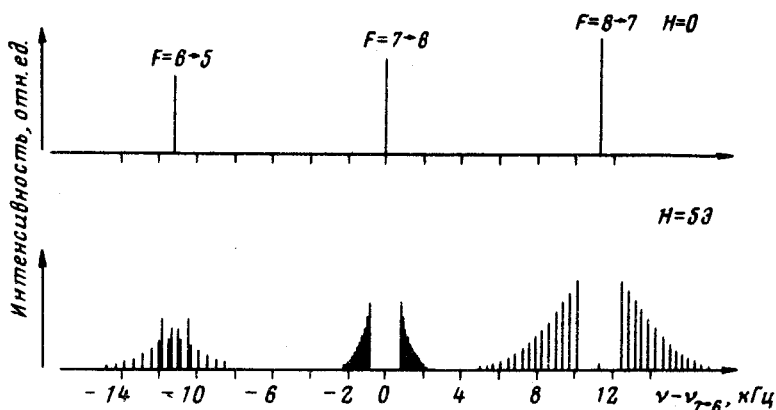


Рис.2. Положение и интенсивности  $\sigma_{\pm}$ -компонент линий на переходах сверхтонкой структуры метана в магнитном поле без учета эффекта отдачи (линейное приближение)

3. Полученные экспериментальные результаты качественно объясняются расщеплением линий на переходах МСТС на  $\sigma_{\pm}$ -компоненты. В слабом магнитном поле  $\sim 0 \div 5$  Э наблюдается аномальный эффект Зеемана. Линии МСТС расщепляются по-разному, поскольку  $g$ -факторы верхних и нижних уровней на переходах МСТС различны и зависят от полных моментов  $F_1, F_2$ . На рис.2 представлена расчетная картина расщепления основных компонент МСТС линии  $F_2^{(2)}$  метана в магнитном поле. Для линейно поляризованного света и аксиального магнитного поля разрешены переходы с изменением проекции  $M$  полного момента на  $\Delta M = \pm 1$ .

Каждый переход сверхтонкой структуры расщепляется на  $2F_2 + 1$ -компоненту. Частотный интервал между  $M$ -компонентами значительно меньше полученной в эксперименте полуширины резонанса в метане  $\sim 2\text{кГц}$ , поэтому они не разрешаются. На рис. 2 видно, что расчетное расщепление на  $\sigma_+$ - и  $\sigma_-$ -компоненты для линий на переходах МСТС хорошо согласуется с наблюдаемым в эксперименте.

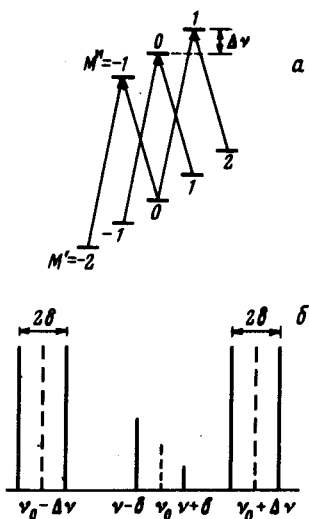


Рис. 3. Качественная картина появления асимметрии нелинейного резонанса в магнитном поле из-за эффекта отдачи для случая, когда  $g$ -факторы уровней равны:  $a$  — схема переходов,  $b$  — положение и относительные интенсивности резонансов  $\sigma$ -компонент и перекрестных резонансов в присутствии эффекта отдачи

Новым физическим эффектом, наблюдаемым в эксперименте, является асимметрия линии на переходе  $7 \rightarrow 6$ . Это явление связано с влиянием эффекта отдачи в магнитном поле и имеет место как для нормального, так и для аномального эффекта Зеемана. Качественная картина появления асимметрии состоит в следующем. При резонансном нелинейном взаимодействии стоячей электромагнитной волны линейной поляризации с газом, находящимся в продольном магнитном поле, наряду с резонансами на переходах с общим верхним или нижним уровнями (перекрестные резонансы)<sup>1)</sup>. Из-за эффекта отдачи каждый из резонансов  $\sigma$ -компонент расщепляется на величину  $2\delta$  ( $\delta = \hbar k^2 / 2m$ ,  $k$  — волновое число,  $m$  — масса молекулы), частоты перекрестных резонансов с общими нижни-

<sup>1)</sup> Перекрестные резонансы возникают в простейшем случае в трехуровневой системе, если два связанных перехода перекрываются доплеровским уширением.

ми уровнями сдвигаются на  $\delta$  в синюю область относительно частоты перехода, а для резонансов с общими верхними уровнями на  $-\delta$  (рис.3). Так как число переходов с общими верхними и нижними уровнями разное, то суммарные интенсивности указанных перекрестных резонансов отличаются. Эффект отдачи приводит к появлению асимметрии нелинейных резонансов в магнитном поле.

Нами был выполнен расчет нелинейного коэффициента поглощения в продольном магнитном поле для аномального эффекта Зеемана при учете эффекта отдачи. Хорошее согласие теоретической формы первой производной коэффициента насыщенного поглощения  $F_2^{(2)}$ -линии метана с экспериментальной кривой (рис.1, б) получается при расчетном значении однородной полуширины  $\Gamma = 2$  кГц и напряженности магнитного поля  $H = 7$  Э (рис.1, б). В то же время величина продольного магнитного поля в эксперименте составляла 5 Э. Это обстоятельство можно объяснить тем, что в эксперименте кроме поля, создаваемого соленоидом, на поглощающий газ действовало магнитное поле Земли и других внешних источников напряженностью  $\sim 1 + 2$  Э (магнитная экранировка поглощающей ячейки отсутствовала).

Экспериментально наблюдаемые сдвиги компонент МСТС метана в магнитном поле согласуются в пределах ошибки измерений с расчетными значениями, полученными нами с использованием результатов [6] при учете эффекта отдачи и влияния крыльев соседних компонент.

Авторы выражают благодарность Е.В.Бакланову за полезные советы и обсуждения, В.М.Семибаламуту за проведение численных расчетов на ЭВМ, А.С.Дычкову и С.В.Мальцеву за помощь в проведении эксперимента.

Институт теплофизики  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
5 ноября 1980 г.

## Литература

- [1] A.J.Luntz, R.G.Brewer. J.Chem. Phys., 53, 3380, 1970.
- [2] E.E.Uzgiris, J.L.Hall, R.L.Barger. Phys. Rev.Lett., 26, 289, 1971.
- [3] J.L.Hall, C.Borde. Phys. Rev. Lett., 30, 1101, 1973.
- [4] С.Н.Багаев, Л.С.Василенко, В.Г.Гольдорт, А.К.Дмитриев, М.Н.Скворцов, В.П.Чеботаев. Доклад на II Всесоюзном симпозиуме по физике газовых лазеров, Новосибирск, июль, 1975.
- [5] S.N.Bagayev, L.S.Vasilenko, V.G.Goldort, A.K.Dmitriev, A.S.Dychkov, V.P.Chebotaev. Appl. Phys., 13, 291, 1977.
- [6] Ye.V.Baklanov, M.V.Belyayev. Appl. Phys., 14, 389, 1977.