

линейной поляризации, для которой резонатор обладает высокой добротностью. Заметим, что пересекающиеся по частоте линии независимы, т. е. не имеют общих уровней (см. рисунок, б). Генерация линейной поля-

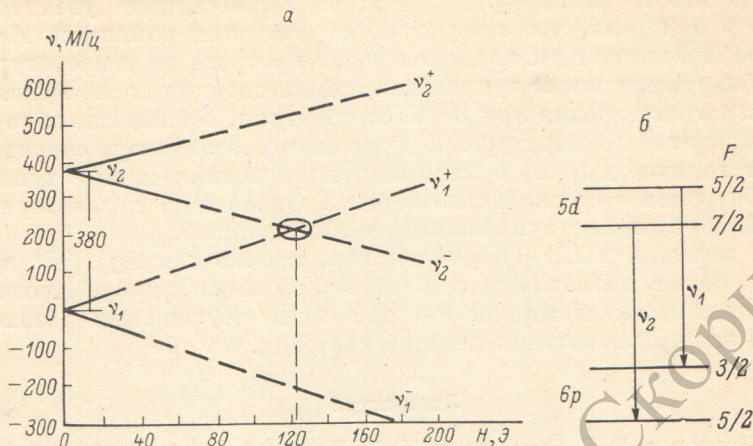


Схема расщепления компонент сверхтонкой структуры (СТС) линии 3508 нм в магнитном поле (а) и СТС перехода  $5d [7/2]_3 - 6p [5/2]_2$  (б).

ризации в точке совпадения частот по существу означает синхронизированную с точностью до фазы генерацию на двух переходах с ортогональной поляризацией. Элементами, обеспечивающими связь этих двух типов колебаний, являются брестеровские окна лазеров.

Поступило в Редакцию 19 октября 1979 г.

УДК 539.184.26

## ОПТИЧЕСКАЯ САМОНАКАЧКА В СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЕ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ $^{87}\text{Rb}$

Е. Б. Александров и Н. Н. Якобсон

В работах [1, 2] наблюдалось самопроизвольное возникновение значительной разности населенностей между подуровнями сверхтонкой структуры (СТС) основного состояния (ОС) таллия в условиях газового разряда. Как было установлено, разность населенностей возникала в результате процессов радиационного обмена в оптически плотном газе, испускающем резонансное излучение в свободное пространство. Обнаруженный в парах таллия механизм образования разности населенностей, названный оптической самонакачкой, в своей основе универсален и должен с той или иной эффективностью функционировать в разряде в любом веществе с разрешенной структурой основных или метастабильных состояний. В настоящей работе этот эффект демонстрируется в разряде в парах  $^{87}\text{Rb}$ .

Для предварительного суждения о процессе самонакачки достаточно рассмотреть структуру линий главного дублета. На рис. 1, А приведена схема двух нижних термов  $^{87}\text{Rb}$  и СТС линии  $D_1$  главного дублета. Вероятности переходов для компонент «а» и «с» в СТС линии  $D_1$ , соответствующих переходам в два сверхтонких подуровня ОС из одного общего СТ подуровня возбужденного  $5^2P_{1/2}$ -состояния, относятся как 5 : 1, что создает ситуацию, благоприятную для самонакачки. Как показано

в работе [3], процессы пленения резонансного излучения в компонентах с общим верхним уровнем приводят к их конкуренции, в результате которой энергия возбуждения выходит из объема преимущественно на длине волны исходно более слабой компоненты «с». Аномальный рост интенсивности линии «с» соответствует аномально высокой скорости радиационного заселения подуровня  $F=1$  ОС. Компоненты «b» и «d», обладая равными вероятностями переходов, играют в этом процессе пассивную роль релаксационного канала между СТ подуровнями основного состояния.

Описанная картина самонакачки не учитывает имеющегося частичного перекрытия доплеровских контуров близко расположенных компонент

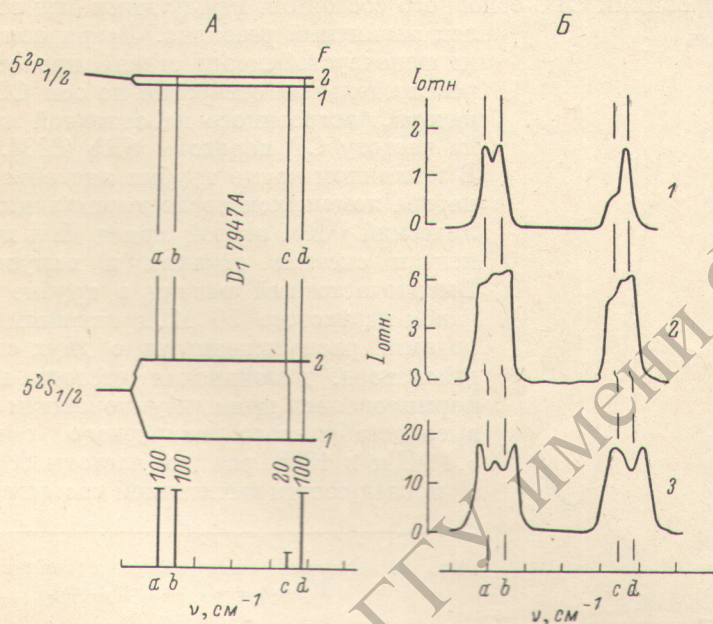


Рис. 1.

А — сверхтонкая структура линии  $D_1^{87}\text{Rb}$ , Б — изменения компонент СТ линии  $D_1$  при увеличении (1, 2, 3) плотности паров Rb в разряде.

«a» и «b», а также «с» и «d». Кроме того, в присутствии буферного газа происходит частичное ударное перемешивание подуровней СТ возбужденного состояния. В пределе при полном перекрытии близко расположенных компонент структура линии  $D_1$  сведется к двум спектрально изолированным компонентам с соотношением сил 5 : 3 в соответствии со стат-весами подуровней ОС. И в этом случае в результате конкуренции этих компонент сохраняется тенденция к преимущественному заселению подуровня  $F=1$  ОС, хотя и не столь ярко выраженная.

Для линии  $D_2$  описание структуры только двумя составляющими тем более оправдано из-за более тесной СТ уровня  $5^2P_{3/2}$ . Вследствие того же соотношения сил компонент (5 : 3 по стат-весам подуровней ОС) процессы пленения и в линии  $D_2$  должны приводить к преимущественному заселению в ОС подуровня с меньшим стат-весом  $F=1$ . Такое положение вообще характерно для процесса самонакачки.

На рис. 1, Б представлены последовательно по мере увеличения плотности паров в разряде три обработанные записи спектров СТ компонент линии  $D_1$  ( $\lambda=7949 \text{ \AA}$ )  $^{87}\text{Rb}$ . Спектры получены<sup>1</sup> в ВЧ разряде в парах  $^{87}\text{Rb}$  в атмосфере криптона (2 тор). Приведенные спектры графически освобождены от следов СТ компонент  $^{85}\text{Rb}$ , которые всегда присут-

<sup>1</sup> Авторы признательны М. С. Фриш и А. И. Канцерову за снятые с помощью мультимплекса с разрешением  $\sim 150 \text{ МГц}$  спектры СТ линии  $D_1$  рубидия.

ствуют в излучении (обогащение изотопа  $^{87}\text{Rb}$  составляло  $\sim 96\%$ ). Первая запись соответствует излучению оптически тонкого слоя и обнаруживает соотношение компонент СТС, отвечающее вероятностям переходов. Последующие записи отражают изменения в спектре, вызываемые конкуренцией компонент и самообращением по мере возрастания плотности паров рубидия. В приведенных спектрах хорошо прослеживается преимущественный рост компоненты «с» и связанное с этим увеличение интегральной интенсивности суммы компонент «с» и «d». Этого обстоятельства уже достаточно для действия механизма самонакачки и избыточного заселения сверхтонкого подуровня  $F=1$  в основном состоянии.

Для демонстрации возникающей в разряде разности населенностей между подуровнями СТС основного состояния между ними был осуществлен магнитный резонанс. Разрядная трубка из щелочестойчивого стекла проходила через предельные отверстия по оси СВЧ резонатора, настроенного на основной моде  $H_{011}$  на частоту СТ перехода  $^{87}\text{Rb}$  (6834.7 МГц). В запаянном конце трубки вне объема резонатора помещался после дистилляции металлический  $^{87}\text{Rb}$ , второй конец был подсоединен к системе откачки и напуска газа. Высокочастотный разряд в трубке возбуждался на частоте 50 МГц внешними электродами, расположенными с двух сторон от резонатора. Резонансная частота перехода формировалась прямым умножением частоты высокостабильного кварцевого генератора 5.0 МГц в 1368 раз до частоты 6840 МГц с последующим вычитанием частоты 5.3 МГц

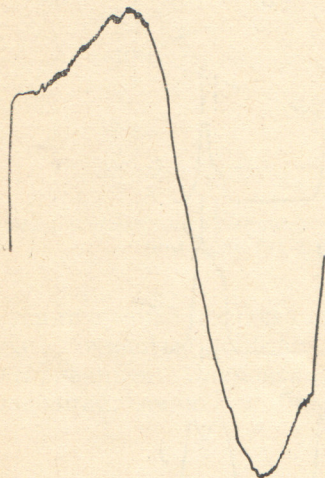


Рис. 2. Сигнал магнитного резонанса  $F=2$   
 $M_F=0 \leftrightarrow F=1 M_F=0$ .

от вспомогательного перестраиваемого генератора. Сформированный таким образом сигнал усиливался до уровня  $1\div 2$  мВт с помощью ЛБВ и подавался в резонатор. Нагруженная добротность резонатора колебалась в зависимости от тока разряда и плотности паров рубидия в пределах  $1\div 2 \cdot 10^3$ . Плотность паров контролировалась температурой отростка с металлическим рубидием. Излучение разряда выводилось через предельное отверстие в боковой стенке резонатора.

Магнитный резонанс регистрировался по изменению интенсивности излучения разряда в коротковолновых составляющих СТС резонансных линий, для выделения которых использовался газовый фильтр с парами  $^{85}\text{Rb}$ . Выделение одной из сверхтонких составляющих было необходимо, поскольку выравнивание населенностей подуровней СТС основного состояния с помощью магнитного резонанса не меняет интегральной интенсивности выходящего излучения, а лишь перераспределяет интенсивности сверхтонких компонент. Отфильтрованный таким образом свет направлялся на фотоприемник. Для регистрации резонанса в тракт умножения частоты вводилась низкочастотная модуляция. Сигнал с выхода фотоприемника после селективного усиления и синхронного детектирования регистрировался самописцем. Предполагалось наблюдать магнитный резонанс на переходе  $F=2 M_F=0 \leftrightarrow F=1 M_F=0$ , мало чувствительном к лабораторным магнитным помехам. Для устранения остальных переходов с правилами отбора  $\Delta F=\pm 1$ ,  $\Delta M_F=0$  их частоты уводились в стороны с помощью внешнего магнитного поля напряженностью порядка  $10^{-3}$  Т.

На рис. 2 представлена типичная запись сигнала резонанса в разряде в парах  $^{87}\text{Rb}$  в атмосфере неона (10 тор). Ширина резонанса оказалась

неожиданно большой и составляла  $0.6 \div 1.0$  МГц в зависимости от условий разряда. Такая ширина обусловлена, по-видимому, высокой интенсивностью резонансного излучения в разряде. В этих условиях СВЧ мощность, подаваемая в резонатор, была мала для насыщения резонанса, вследствие чего наблюдавшиеся сигналы далеки от своего максимального значения. Как и ожидалось, сигнал исчезал при устранении газового фильтра в канале регистрации. Контроль фазы сигнала подтвердил также, что возникающая разность населенностей соответствует обогащению нижнего подуровня  $F=1$  основного состояния.

#### Литература

- [1] Е. Б. Александров, Н. Н. Якобсон. Письма ЖЭТФ, *26*, 463, 1977.
- [2] Е. Б. Александров, Н. Н. Безуглов, Н. Н. Якобсон. Опт. и спектр., *46*, 1061, 1979.
- [3] Е. Б. Александров, Н. Н. Безуглов. Опт. и спектр., *45*, 218, 1978.

Поступило в Редакцию 19 октября 1979 г.