

## **ВЫМОРАЖИВАНИЕ СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ АТОМОВ ТАЛЛИЯ В РАЗРЯДЕ**

*Е.Б.Александров, Н.Н.Якобсон*

Наблюдался эффект "вымораживания" населенностей сверхтонкой структуры основного состояния атомов Tl в условиях газового разряда. Эффективная температура основного состояния составляла 10К при рабочей температуре паров 1000К.

Атомы в газовом разряде подвергаются интенсивному резонансному облучению, в общем случае не являющимся равновесным. Поэтому за счет процессов радиационного обмена можно ожидать отклонений от термического равновесия в распределении атомов по подуровням долгоживущих состояний, в частности, по подуровням сверхтонкой структуры (СТС) основного состояния, если расстояние между ними соизмеримо с шириной резонансных линий или больше нее. Мы наблюдали существенное отклонение от равновесия в распределении населенностей СТС таллия в разряде методами радио-оптической и радиоспектроскопии.

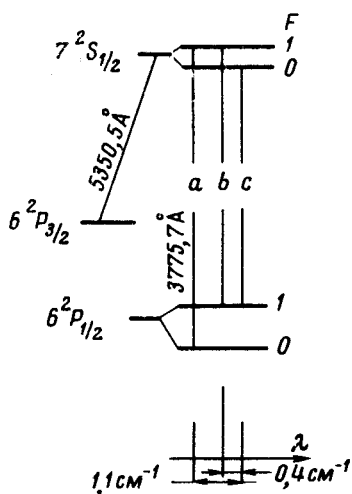


Рис. 1. Схема трех нижних термов Тl (указано теоретическое значение интенсивностей СТ компонент)

Емкостной высокочастотный (около  $50 \text{ МГц}$ ) разряд в парах Тl, насыщенных при температуре  $600 - 650^\circ \text{C}$ , с буферным газом (неон  $3 - 10 \text{ тор}$ ) возбуждался в кварцевой тонкостенной трубке с внутренним диаметром  $4 \text{ мм}$ . Трубка проходила по оси цилиндрического СВЧ резонатора из жаропрочной нержавеющей стали, настроенного на частоту  $21310 \text{ МГц}$  с  $TE_{011}$  типом колебаний. Резонатор возбуждался через отверстие связи в боковой стенке и имел нагруженную добротность  $10^3$ . Излучение разряда выводилось через предельное отверстие в массивной стенке резонатора. Источником СВЧ мощности служил генератор Г 3-91. Частота генератора модулировалась по прямоугольному закону с девиацией  $50 - 100 \text{ кГц}$  на частоте  $10^3 \text{ Гц}$  и медленно сканировалась в окрестности частоты перехода  $\Delta F = \pm 1$ ,  $\Delta m_F = 0$  Тl<sup>205</sup>. Частота калибровалась с точностью  $10^{-7}$  кварцованным гетеродинным волномером. В радио-оптическом эксперименте регистрация велась с помощью ФЭУ в разделенных интерферометром Фабри - Перо компонентах СТС линии  $3776 \text{ Å}$  (рис. 1) или фотоэлементом интегрально в линиях  $3776 \text{ Å}$  или  $5350 \text{ Å}$ , выделявшихся стеклянными фильтрами. Фотосигнал усиливался и синхронно детектировался в фазе с модуляцией частоты СВЧ.

Во всех случаях был зарегистрирован сигнал резонанса в СТС основного состояния. Пример записи сигнала при интегральной регистрации в линии 3776Å приведен на рис. 2 (постоянная времени в канале регис-



Рис. 2. Сигналы магнитных резонансов  $\Delta F = \pm 1$  в линии 3776Å

трации 1 сек, ширина сигналов в значительной степени связана со спектром клистрона Г 3-9 л). Три компоненты резонанса соответствуют структуре переходов  $F = 0, m_F = 0 \rightarrow F = 1, m_F = 0, \pm 1$  в магнитном поле зем-

ли. Соотношение интенсивностей определяется ориентацией оси резонатора относительно вектора магнитного поля. Центральная линия обнаруживает насыщение при подводимой мощности СВЧ порядка  $10^{-4}$  вт. При раздельном наблюдении по компонентам СТС линии  $3776\text{Å}$  было установлено, что возбуждение перехода  $\Delta F = \pm 1$  приводит к *увеличению* интенсивности компоненты "a" и *уменьшению* интенсивности компонент "b" и "c" (рис. 1). При интегральном наблюдении сигнал зависит от соотношения интенсивностей компонент СТС, меняющегося с давлением паров таллия [ 1, 2 ], вследствие чего сигнал резонанса в линии  $3776\text{Å}$  при некоторой температуре меняет знак, проходя через ноль. Характер изменения сигналов в компонентах линии  $3776\text{Å}$  свидетельствует об избыточной населенности нижнего  $F = 0$  уровня СТС в условиях разряда.



Рис. 8. Сигнал резонанса  $F=0, m_F=0 \leftrightarrow F=1, m_F=0$  в СВЧ мощности

Этот вывод удалось независимо проверить прямым радиоспектроскопическим экспериментом, обнаружив поглощение СВЧ мощности в резонаторе в окрестности атомного резонанса (рис. 3). При выключении разряда никаких следов сигнала, связанных с термической разностью населенностей (при температуре  $1000\text{K} - 0,1\%$ ), наблюдать не удалось, несмотря на существенное увеличение чувствительности. Этот факт вместе с измерением поглощаемой мощности позволил грубо оценить избыточную населенность подуровня  $F = 0$  величиной порядка  $10\%$ , что соответствует эффективному "вымораживанию" атомов при  $10\text{K}$ .

Как упоминалось, СВЧ резонанс обнаруживался и при наблюдении в зеленой линии  $5350\text{Å}$ . В отличие от сигналов в линии  $3776\text{Å}$  при СВЧ резонансе интенсивность линии  $5350\text{Å}$  во всех случаях падает, что пока не нашло однозначного объяснения. Максимальные интенсивности сигналов в линиях  $3776$  и  $5350\text{Å}$  близки и по отношению к шуму достигают величины  $10^3$  при времени интегрирования  $1\text{ сек}$ .

Толчком для наших исследований послужили работы [2], в которых обнаруженная в [1] аномалия соотношения интенсивностей СТ компонент линии  $3776\text{Å}$  истолкована как следствие и свидетельство *инверсии* населенностей подуровней СТС состояния  $6^2P_{1,2}$  в разряде. В наших исследованиях мы подтвердили существование этой аномалии (линия "а" по интенсивности превышает линию "с", а при температурах  $600 - 680^\circ\text{C}$  и линию "в" — рис. 1), дополнительно установив, что она практически не зависит ни от вида разряда, ни от его мощности, ни от формы разрядного сосуда, ни от рода и давления буферного газа в пределах  $0 - 20\text{ тор}$ . Однако остальные наши результаты опровергают выводы работ [2], поскольку оказалось, что населенности основного состояния не инвертированы а "выморожены" и аномалия интенсивностей компонент СТС линии  $3776\text{Å}$  не является следствием разности населенностей сверхтонких подуровней. Действительно, насыщение сверхтонкого перехода не устраняет аномалию распределения интенсивностей, как следовало бы ожидать из логики работ [2], а, напротив, несколько усугубляет ее. Об этом же говорит тот факт, что возникновение разности населенностей требует подбора рода и давления буферного газа: оптимальным в наших условиях оказался неон при  $6\text{ тор}$  или гелий при  $10\text{ тор}$ . В аргоне сигналы были много меньше, а в ксеноне их найти не удалось. В то же время, как отмечалось, аномалия интенсивностей практически не зависит от рода и давления буферного газа.

Насколько нам известно, в условиях газового разряда перераспределение населенностей, достаточное для регистрарции микроволнового резонанса, не наблюдалось. Обнаруженный резонанс открывает уникальную возможность исследования процессов релаксации и частотных сдвигов в СТС основного состояния атомов в условиях разряда. Кроме того, возникает перспектива исследования СТС атомов, не подверженных стандартной процедуре оптической накачки (например, тех, чьи резонансные линии лежат в далеком ультрафиолете). Наконец, представляет интерес детальное исследование механизмов, которые приводят к столь существенным отклонениям системы от термического равновесия.

Государственный  
оптический институт  
им. С.И.Вавилова

Поступила в редакцию  
2 августа 1977 г.

### Литература

- [1] S.Frisch. Zs. f. Phys., **68**, 758, 1931.  
[2] Ю.И.Туркин. Оптика и Спектроскопия, **2**, 290, 1957; **7**, 10, 1959.