

ИЗМЕРЕНИЕ СДВИГА И УШИРЕНИЯ КОМПОНЕНТ СТС ЛИНИИ РУБИДИЯ В ПРИСУТСТВИИ КРИПТОНА

С. Л. Изотова, А. И. Канцеров и М. С. Фриш

Как хорошо известно, взаимодействие излучающих атомов с окружающими частицами (атомами) приводят к деформации контура излучения, которая проявляется в сдвиге центральной частоты контура и его уширении. Вопросу взаимодействия возбужденных атомов рубидия с инертными газами посвящено много экспериментальных и теоретических работ [1-3]. Однако до настоящего времени вопрос сдвига и уширения отдельных сверхтонких компонент в литературе рассматривался мало. Теоретическое рассмотрение этого вопроса для сверхтонкой структуры резонансной линии рубидия в присутствии тяжелых инертных газов при малых давлениях проведено в работе Ребана [4]. Экспериментальные измерения проводились методом магнитного сканирования в работе [5].

В данной работе измерение сдвига и уширения отдельных сверхтонких компонент резонансной линии рубидия 87 ($\lambda = 794.7$ нм) осуществлялось по линии поглощения. В качестве поглощающей ячейки использовалась кювета, наполненная инертным газом криптоном и обогащенным изотопом рубидия 87. Температура кюветы, поддерживаемая постоянной с точностью до 1-2° С, позволяла фиксировать доплеровскую ширину контура поглощения с точностью не хуже 0.3%.

Исследуемая резонансная линия (переход $5^2S_{1/2} - 5^2P_{1/2}$) состоит из четырех сверхтонких компонент, расстояние между которыми для невозмущенного ансамбля излучающих частиц известно из литературы [6] и теоретическое отношение интенсивностей в этом мультиплете 5 : 5 : 1 : 5. Естественная ширина уровня ~ 30 МГц [6] и, следовательно, основными процессами, приводящими к перекрыванию сверхтонких компонент, является эффект Доплера и уширение давлением. Уже при температуре кюветы 45-50° значение величин интегрального коэффициента поглощения для исследуемых линий оказывается порядка 10^9 см⁻¹·с⁻¹, что обеспечивает надежное наблюдение линии поглощения вплоть до утроенной ширины доплеровского контура, равной 525 МГц. Эксперимент проводился при двух давлениях буферного газа — 10 и 20 мм рт. ст.

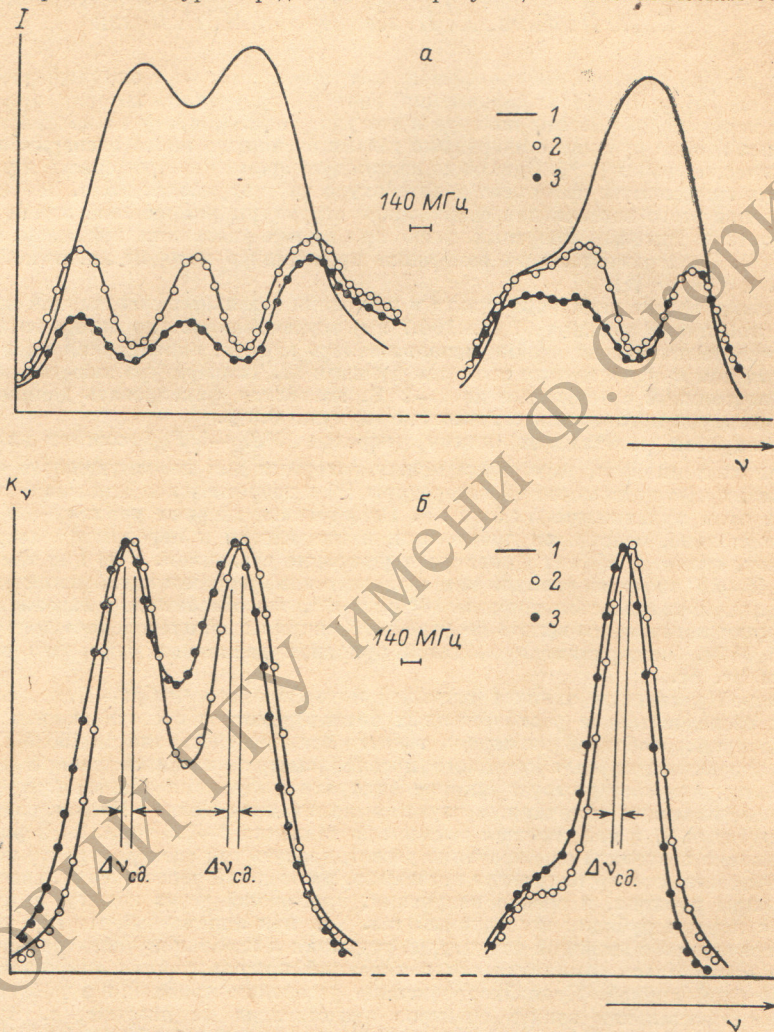
Основой установки являлся сложный интерферометр Фабри—Перо, состоящий из двух последовательно расположенных интерферометров с соотношением толщин 1 : 8. Интервал свободной дисперсии тонкого эталона составлял 18 750 МГц. Измеренная разрешающая сила сложного интерферометра оказалась равной $3 \cdot 10^6$ для $\lambda = 632.8$ нм, что соответствует ширине аппаратной функции 140 МГц.

Просвечивающим источником служила лампа типа Белла—Блюма, содержащая изотоп рубидия 87 и наполненная аргоном до давления 2-2.5 тора. Экспериментальная установка позволяла одновременно регистрировать три спектра: спектр излучения источника света, спектр излучения источника, прошедший через кювету, содержащую только пары рубидия, и спектр излучения, прошедший через кювету, содержащую наряду с парами рубидия исследуемый газ. Так как аппаратный контур установки мал по сравнению с шириной структуры, редукция к идеальному спектральному прибору не проводилась. Аналитически аппаратный контур хорошо аппроксимируется дисперсионной кривой. Подробное описание установки приведено в работах [7, 8].

Экспериментальная запись спектров представлена на рисунке, а. Численная обработка сводилась к вычислению коэффициентов поглощения $k(\nu) = \ln(I_0(\nu)/I_{пр}(\nu))$, где $I_0(\nu)$ — падающее на поглощающую ячейку излучение частоты ν , $I_{пр}(\nu)$ — излучение частоты ν , прошедшее через поглощающую ячейку, и l — длина кюветы. Пример полученных контуров поглощения приведен на рисунке, б. Контур поглощения чистых паров рубидия, полученный в условиях, когда парциальное давление паров равняется $(3-4) \cdot 10^{-6}$ тор, отождествлялся с контуром излучения ансамбля невзаимодействующих атомов. Как видно из рисунка, величина сдвига давлением для трех разрешенных равноинтенсивных компонент может быть получена непосредственно из экспериментальных кривых. В пределах погрешности наблюдений эти сдвиги оказались равными. Наличие четвертой сверхтонкой компоненты проявляется в наблюдаемой асимметрии коротковолнового контура и величина сдвига для нее находится только при математической обработке.

Для нахождения величины уширения давлением необходимо определить процессы, ведущие к уширению спектральной линии, т. е. аналитически охарактеризовать контур отдельной сверхтонкой компоненты. В условиях проводимого эксперимента контур линии поглощения формируется в результате теплового движения излучающих атомов, уширения вследствие давления построенного газа, естественного уширения уровня и уширения из-за аппаратных искажений. Уширение давлением (при значениях последнего меньше атмосферного) приводит к тому, что центральная часть линии поглощения задается ударным приближением, т. е. лорентцовским контуром со сдвинутой центральной частотой [2], причем значения уширения и сдвига линии определяются как величиной давления, так и потенциалом взаимодействия частиц. Таким

образом, зарегистрированные контуры поглощения отождествляются с фойхтовским контуром, ширина лорентцовой составляющей которого подлежит отысканию. Решение задачи разложения контуров на гауссовскую и дисперсионную составляющие и отыскания их ширины проводились по методу наименьших квадратов с применением ЭВМ. Поскольку наблюдаемые сдвиги для всех компонент оказались одинаковыми, при математической обработке предполагалось, что ширины дисперсионной составляющей неполностью разрешенных компонент также одинаковы. Совпадение рассчитанных и измеренных контуров представлено на рисунке, б. Математическая обработка



1 — контур линии излучения источника ($\lambda=794.7$ нм), 2 — кривая пропускания чистых паров рубидия 87, 3 — кривая пропускания паров рубидия в присутствии буферного газа криптона при давлении 10 мм рт. ст.
 1 — контур поглощения Rb^{87} ($\lambda=794.7$ нм); 2 — чистые пары рубидия, 3 — пары рубидия и 10 мм криптона (2, 3 соответствуют расчетным значениям контура, сплошной линией — измеренный контур).

контура поглощения чистых паров рубидия показала, что экспериментальный контур поглощения отдельных компонент СТС хорошо аппроксимируется фойхтовским профилем с фиксированной шириной доплеровской составляющей (525 МГц). Вычисленная ширина лорентцовой составляющей контура оказалась (64 ± 1) МГц. Это значение заметно превышает ожидаемое значение лоренцевской ширины, обусловленное естественной шириной, и объясняется систематической ошибкой в эксперименте, связанной с неучтенной аппаратной функцией прибора. В дальнейшем при нахождении величины уширения давлением полученное значение лорентцовой ширины вычиталось из расчетных значений ширины дисперсионного контура. Перевод в шкалу частот полученных значений сдвигов и уширений проводился по известному расстоянию между сверхтонкими компонентами невозмущенных паров рубидия и значению доплеровской ширины контуров.

Проведенные исследования показали, что величины сдвигов и уширений всех сверхтонких компонент одинаковы и пропорциональны давлению постороннего газа. Получены следующие значения:

$$\Delta\nu_{сд.} = (5 \pm 1) \text{ МГц/тор}, \quad \Delta\nu_{ш.} = (14 \pm 2) \text{ МГц/тор}.$$

Измеренные значения в пределах погрешности эксперимента хорошо согласуются с данными, приведенными в работах [4, 5]. Из полученных величин сдвигов и уширений легко рассчитать эффективные сечения сдвига и уширения процесса соударений атомов криптона с рубидием. Эти значения следующие:

$$\sigma_{\text{сд.}} = (3.0 \pm 0.4) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2, \quad \sigma_{\text{уш.}} = (7.3 \pm 1) \cdot 10^{-14} \text{ см}^2.$$

Литература

- [1] S. Y. Ch'en, M. Takeo. *Rev. Mod. Phys.*, 29, 20, 1957.
- [2] Ch. Ottinger, R. Scheps, S. W. York, A. Gallagher. *Phys. Rev.*, A11, 1815, 1975.
- [3] F. Schuller, W. Behmenburg. *Phys. Reports, Sect. C of Phys. Lett.*, 12, 273, 1974.
- [4] В. Н. Ребане. *Опт. и спектр.*, 42, 1977.
- [5] Н. И. Калитеевский, О. М. Риш, М. П. Чайка. *Опт. и спектр.*, 41, 504, 1976.
- [6] J. D. Feichtner, I. U. Gallagher, M. Mizushima. *Phys. Rev.*, 164, 44, 1967.
- [7] С. Л. Изотова, М. С. Фриш. *Опт. и спектр.*, 33, 798, 1972.
- [8] С. Л. Изотова, А. И. Канцеров, М. С. Фриш. *Тр. Всесоюз. симпозиума, май, 1974.*

Поступило в Редакцию 12 марта 1976 г.