

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ
СВЕРХТОНКИХ КОМПОНЕНТ D_1 -ЛИНИИ Rb^{87}
ИНЕРТНЫМИ ГАЗАМИ
С ПОМОЩЬЮ СЛОЖНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ—ПЕРО**

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

Измерены сдвиги и уширения компонент сверхтонкой структуры резонансной линии Rb^{87} (переход $5^2S_{1/2} - 5^2P_{1/2}$) в зависимости от давления инертных газов He, Ne, Ar, Kr на установке, содержащей двойной интерферометр Фабри—Перо. При обработке экспериментальных регистрограмм для определения величин сдвигов и уширений использовалась ЭВМ. Полученные результаты сравнены с данными других авторов.

Исследование сдвигов и уширений спектральных линий давлением постороннего газа является частью проблемы создания фильтров оптической накачки и, с другой стороны, позволяет получить информацию о характере межатомных сил взаимодействия. Одним из способов решения этого вопроса является исследование процессов упругих соударений в условиях, когда выполняются приближения ударной теории. При сравнительно малых давлениях и температурах возмущающего газа, а также при малых концентрациях изучаемого вещества задача не только не выходит за рамки ударной теории, но и позволяет пользоваться приближением парных столкновений. В этом случае центральная часть контура спектральной линии аналитически описывается функцией Фойгта и можно изучать изменения сверхтонких компонент в зависимости от условий взаимодействия, в частности, при изменении давления возмущающего газа. В настоящее время эти проблемы широко обсуждаются в научной литературе [1].

В данной работе измерялись уширения и сдвиг сверхтонких компонент резонансной линии Rb^{87} ($\lambda = 794.7$ нм, переход $5^2S_{1/2} - 5^2P_{1/2}$), вызванные столкновениями с атомами инертных газов He, Ne, Ar, Kr при давлениях 5, 10, 20 и 54 (аргона) мм рт. ст. и температурах 316—324 К. В работе использовался метод поглощения в сочетании с приборами высокого разрешения — двойным интерферометром Фабри—Перо.

Причины, ведущие к деформации контура линии поглощения, имеют ту же физическую природу, что и при изменении контура излучения. Вместе с тем контур линии поглощения формируется в поглощающей кювете, в которой сравнительно легко создается постоянство параметров. Доплеровское уширение при температуре порядка 320 К сравнимо со сверхтонким расщеплением состояния $5^2P_{1/2}$ и много меньше чем $5^2S_{1/2}$ (818 МГц и 6835 МГц соответственно), что приводит лишь к частичному перекрытию сверхтонких компонент D_1 -линии Rb^{87} . Для исследования поведения отдельных сверхтонких компонент целесообразно работать при низких давлениях буферного газа, когда его уширяющее воздействие не приводит к полному перекрытию компонент.

Просвечивание поглощающей кюветы производилось участком сплошного спектра от помещенной в неоднородное магнитное поле шариковой

лампочки типа Белла—Блюма, содержащей изотоп Rb^{87} с незначительной примесью Rb^{85} и наполненной инертным газом. Использование источника такого типа позволило реализовать преимущества линейчатого и сплошного спектра, т. е. большую спектральную плотность излучаемого света с контуром, имеющим плоскую, сравнительно гладкую вершину. Такой источник света позволял использовать в качестве прибора предварительной дисперсии интерференционный фильтр или монохроматор с широкими входной и выходной щелями, что приводило к максимальному использованию его светосилы.

Для наблюдения спектров использовался сложный интерферометр Фабри—Перо. Соотношение толщин интерферометров выбрано 1:8 при толщине тонкого 8 мм. Оба интерферометра сканировались давлением воздуха с одинаковой скоростью натекания. Экспериментально было

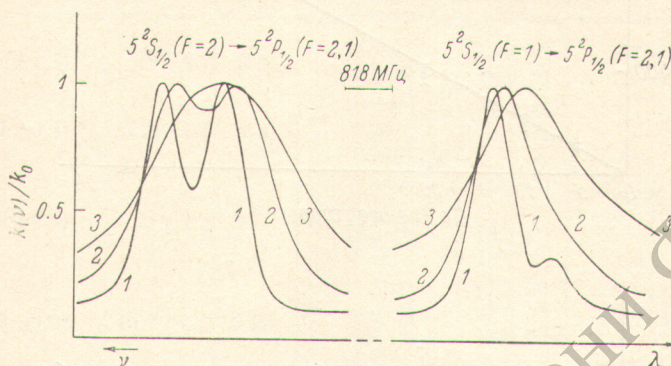


Рис. 1. Контур линии поглощения $\lambda=794,7$ нм Rb^{87} .

1 — контур линии поглощения, возмущенной аргоном при давлении 54 мм рт. ст., 2 — контур линии поглощения, возмущенной аргоном при давлении 20 мм рт. ст., 3 — контур линии поглощения чистых паров Rb^{87} .

установлено, что аппаратную функцию такого сложного интерферометра, состоящего из двух далеко разнесенных эталонов, можно представить в виде произведения аппаратных функций каждого из эталонов, измеренных независимо. При этом ширина главного максимума аппаратной функции сложного интерферометра определяется шириной аппаратной функции толстого интерферометра [2]. Таким образом, использование двойного интерферометра позволило изучать контуры сверхтонкой структуры тонкого эталона, с пределом разрешения, определяемым аппаратной функцией толстого эталона (140 ± 20 МГц).

В эксперименте одновременно осуществлялась регистрация трех спектров: спектра излучения шариковой лампы, спектра излучения, прошедшего через поглощающую кювету, содержащую пары Rb^{87} и исследуемый инертный газ и, наконец, спектра излучения, прошедшего через поглощающую кювету, содержащую только пары Rb^{87} . Контур коэффициента поглощения определялся по формуле

$$k(\nu) = \frac{1}{l} \ln \frac{\Phi_0(\nu)}{\Phi(\nu)},$$

где $\Phi_0(\nu)$ — спектральная плотность потока излучения источника на частоте ν , $\Phi(\nu)$ — спектральная плотность излучения, прошедшего поглощающий объем, l — длина поглощающего объема. Подробное описание установки приведено в работе [2]. Регистрация проводилась фотоэлектрическим умножителем, сигнал с которого передавался на цифровой вольтметр, согласованный с вычислительной машиной и цифровым печатающим устройством. Применение малой ЭВМ в качестве элемента системы регистрации позволило получать контуры поглощения непосредственно в процессе эксперимента (рис. 1). Это обстоятельство значительно сократило время обработки экспериментальных результатов.

В процессе дальнейшей обработки предполагалось, что вид профиля каждой компоненты определяется сверткой дисперсионной и гауссовой функций, причем ширина гауссовой составляющей определяется температурой поглощающей кюветы и хорошо известна. Расстояние между отдельными сверхтонкими компонентами контура поглощения чистых

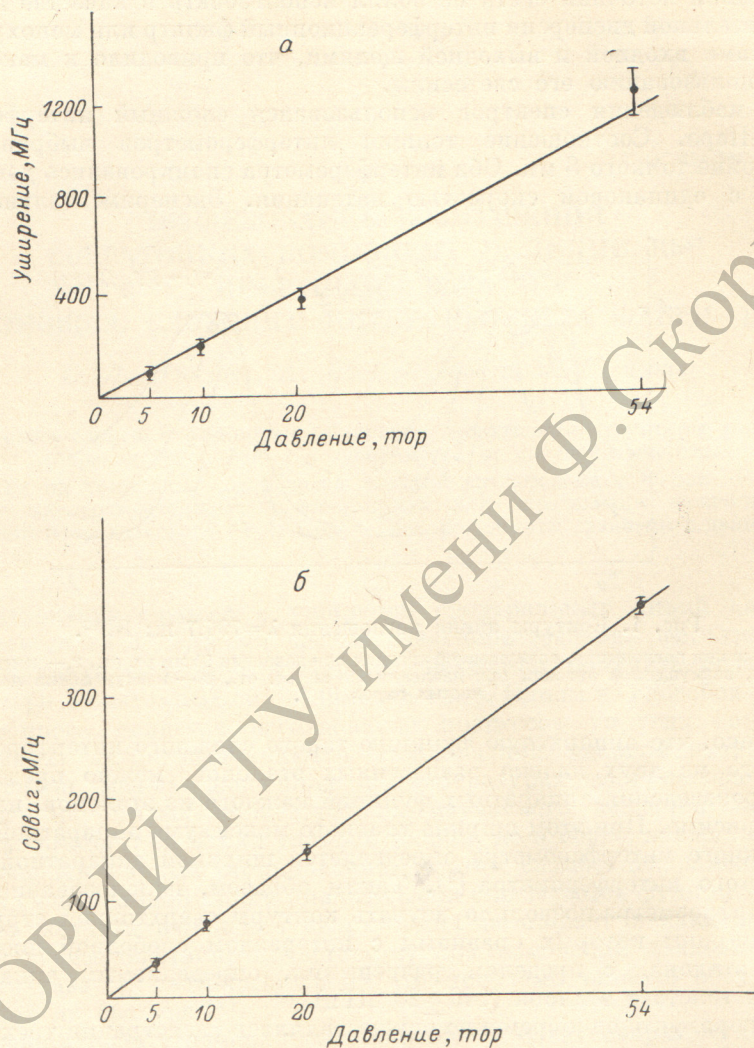


Рис. 2. Зависимость уширения (а) и сдвига (б) резонансной линии поглощения Rb^{87} : $\lambda = 794.7$ нм от давления аргона.

паров рубидия также известно из литературы. Ширина дисперсионной части контура определяется естественной шириной, уширяющим действием аппаратуры и исследуемым уширением вследствие столкновений. Информация о первых двух факторах извлекалась из контура поглощения чистых паров рубидия. Аппроксимация наблюдаемых контуров фойгтовскими осуществлялась на ЭВМ методом наименьших квадратов (процедура Фумеля). В качестве варьируемых параметров профиля рассматривались ширина фойгтовского контура, отношение лорентцовской составляющей к фойгтовской ширине контура, местоположение центра тяжести частично перекрытых компонент и величина, пропорциональная интенсивности в максимуме отдельной компоненты.

Результаты обработки показали, что во всех экспериментах наблюдаемые контуры, соответствующие частичному или полному перекрытию компонент, надежно аппроксимируются (при уровне значимости

более 90%) суммой фойгтовских контуров с одинаковыми ширинами и сдвигами. При этом соотношение интенсивностей сверхтонких компонент остается неизменным в исследуемом интервале давлений. В пределах погрешностей сдвиги и уширения отдельных сверхтонких компонент прямо пропорциональны давлению буферного газа (рис. 2). Это позволило определить относительные величины сдвигов и уширений в пересчете на 1 тор давления буферного газа. Полученные результаты представлены в таблице.

Газ	Настоящая работа			Данные других авторов (МГц/тор)			
	сдвиг, МГц/тор	ушире- ние, МГц/тор	ушире- ние/ сдвиг	эксперимент		теория	
				сдвиг	ушире- ние	сдвиг	уширение
He	$+(5.4 \pm 1.3)$	19 ± 2	3.5	$\begin{cases} +8 [3] \\ +6.2 [4] \end{cases}$	$\begin{cases} 18.4 [7] \\ 18.3 [4] \end{cases}$	$\begin{cases} 6.7 [6] \\ - \end{cases}$	$\begin{cases} 24 [6] \\ - \end{cases}$
Ne	$-(1.7 \pm 0.4) *$	7.3 ± 1.7	4.3	$\begin{cases} -1.2 [4] \\ -0.37 [7] \\ +(2 \pm 2) [3] \end{cases}$	$\begin{cases} 10.1 [4] \\ 9.4 [7] \\ - \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ - \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ - \end{cases}$
Ar	$-(6.9 \pm 0.4)$	21 ± 2	3.0	$\begin{cases} -6.6 [4] \\ -6 [3] \\ -8.3 [8] \\ -7 [7] \end{cases}$	$\begin{cases} 19.4 [4] \\ - \\ 16.7 [8] \\ 18 [7] \end{cases}$	$\begin{cases} -5.4 [5] \\ -6.5 [8] \\ - \\ - \end{cases}$	$\begin{cases} 14.7 [5] \\ 16.7 [8] \\ - \\ - \end{cases}$
Kr	$-(5.3 \pm 0.9)$	15.1 ± 0.9	2.85	$\begin{cases} -5.5 [4] \\ -6.0 [8] \\ -7.2 [7] \\ -4 [3] \end{cases}$	$\begin{cases} 17.3 [4] \\ 20.0 [8] \\ 18.0 [7] \\ - \end{cases}$	$\begin{cases} -5.5 [5] \\ -4.67 [8] \\ - \\ - \end{cases}$	$\begin{cases} 15.2 [5] \\ 22.3 [8] \\ - \\ - \end{cases}$

* Эта величина сдвига опубликована в тезисах Всесоюзного съезда по спектроскопии, г. Горький, 1970 г., стр. 90, со знаком «плюс», что является опечаткой.

Аналогичные измерения столкновительных сдвигов и уширений сверхтонких компонент D_1 -линии рубидия методом магнитного сканирования были проведены в работах [3, 4]. Теоретические расчеты выполнены для столкновений рубидия с аргоном и криптоном [5] и для рубидия с гелием в работе [6]. Наши результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными другими методами а также с указанными теоретическими расчетами.

Полученные значения свидетельствуют о том, что основные предпосылки ударной теории уширения — пропорциональность величины сдвига и уширения давлению постороннего газа для каждой сверхтонкой компоненты — хорошо выполняются вплоть до таких давлений, когда уширяющее действие буферного газа приводит практически к полному перекрытию отдельных сверхтонких компонент (54 тора Ar).

Полученные результаты показывают, что потенциалы взаимодействия атома рубидия с атомами инертных газов отличаются не только количественными характеристиками, но и качественно имеют различный характер. В случае гелия преобладают силы отталкивания, которым соответствует положительная величина сдвига в шкале частот. Для неона, аргона, криптона знак сдвига сверхтонких компонент соответствует проявлению сил притяжения. Величина уширения не монотонно меняется с изменением атомного веса возмущающего газа. Приведенные в таблице величины отношения уширения к сдвигу указывают на то, что для аргона и криптона взаимодействие с атомами рубидия хорошо описывается потенциалом Ван-дер-Ваальса.

Литература

- [1] IV Internat. Conf. Spectral Line Shapes Program and Abstracts, Univ. Vindsor, Ontario, Canada, 1978.

- [2] С. Л. Изотова, А. И. Канцеров, М. С. Фриш. Диагностика плазмы по контурам спектральных линий. Межвузовский сборник. Петрозаводск, 76, 1977.
- [3] В. В. Гершун, В. Хуторщиков, Н. Н. Якобсон. Опт. и спектр., 41, 504, 1976.
- [4] С. А. Казанцев, Н. И. Калитеевский, О. М. Риш. Опт. и спектр., 44 638, 1978.
- [5] В. Н. Ребане. Опт. и спектр., 41, 894, 1976.
- [6] E. Roueff, A. Suzor. J. de Phys., 35, 727, 1974.
- [7] Ch. Ottinger, R. Sheps, G. W. York, A. Gallagher. Phys. Rev., 46, 1815, 1975.
- [8] R. Granier, J. Granier, F. Schuller. J. Quant. Spectr. Rad. Transf., 16, 143, 1976.

Поступило в Редакцию 8 декабря 1978 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. СКОРИНЫ