

ЭФФЕКТ ШТАРКА НА  $5^2P_{3/2}$ -СОСТОЯНИИ  $Rb^{87}$ 

В. Н. Григорьева и Б. Шмидт

Методом пересечения уровней в параллельных электрическом и магнитном полях определены константы Штарка  $\beta_j$  первого резонансного  $5^2P_{3/2}$  состояния  $Rb^{87}$ ,  $\beta_j = (0.020 \pm 0.002)$  МГц/(кВ/см)<sup>2</sup>.

Метод пересечения уровней широко применяется для исследования эффекта Штарка в щелочных металлах. Однако до недавнего времени эксперименты проводились лишь на вторых  $2^2P_{3/2}$ -состояниях атомов [1-7]. Это связано с тем, что изменение энергий этих состояний наблюдается при небольших напряженностях электрического поля, сравнительно легко достижимых в эксперименте, и, кроме этого, эти состояния эффективно заселяются излучением от ламп типа Белла—Блюма, применяемых в работах подобного рода.

Что касается эффекта Штарка на первых резонансных состояниях, то существуют лишь две экспериментальные работы, посвященные этому вопросу. В [8] методом пересечения уровней определялась константа Штарка  $\beta_j$  (тензорная поляризуемость)  $3^2P_{3/2}$ -состояния  $Na^{23}$ . В работе [9] эффект Штарка в рубидии и цезии исследовался методом сравнения смещения линии поглощения в электрическом поле с величиной сверхтонкого расщепления основного состояния. Малое количество работ объясняется трудностью наблюдения эффекта на первых резонансных состояниях вследствие малости его величины — константа Штарка этих состояний на порядок меньше, чем для вторых резонансных уровней и для регистрации эффекта требуются либо высокие напряженности электрического поля, создание которых связано с определенными экспериментальными трудностями, либо метод регистрации с большой чувствительностью.

Настоящая работа посвящена определению константы Штарка  $\beta_j$  первого резонансного  $5^2P_{3/2}$ -состояния  $Rb^{87}$  методом пересечения уровней в параллельных электрическом и магнитном полях. Сигналы пересечений наблюдались на переходе  $5^2P_{3/2} - 5^2S_{1/2}$  (длина волны 7800 Å).

Хорошо известно, что сигналы пересечений выгодно наблюдать вдоль направления магнитного поля, так как в этом случае регистрация разности интенсивностей света  $I(e_i) - I(j)$  двух ортогональных поляризации  $i$  и  $j$  позволяет выделить удвоенный интерференционный сигнал. Однако в прежних экспериментах [3-5] из-за непрозрачности электродов, создававших электрическое поле, наблюдать интерференционные сигналы пересечений вдоль направления полей было невозможно. Сигналы пересечений наблюдались на возрастающей подложке, связанной с изменением вероятностей переходов в магнитном поле (рис. 1, а). Исследование малых сдвигов пересечений в электрическом поле в этом случае крайне затруднительно. В настоящей работе электрическое поле создавалось с помощью внутренних электродов, причем один из электродов изготавливался из медной сетки и был прозрачным. Это позволило вести наблюдение флуоресценции по направлению полей и регистрировать «чистые» интерференционные сигналы (рис. 1, б). Детектирование сигналов пересечений про-

водилось с помощью накопления на многоканальном анализаторе АИ-128-2 [13].

Схема экспериментальной установки показана на рис. 2. Резонансная ячейка 1, наполненная рубидием, помещалась в центр четырех пар катушек Гельмгольца. Две пары 2 катушек создавали контролируемое магнитное поле, с помощью двух других 3 компенсировались составляющие лабораторного поля. Температура ячейки соответствовала комнатной  $\sim 20^\circ \text{C}$ . Возбуждение атомов проводилось светом от лампы Белла—Блюма

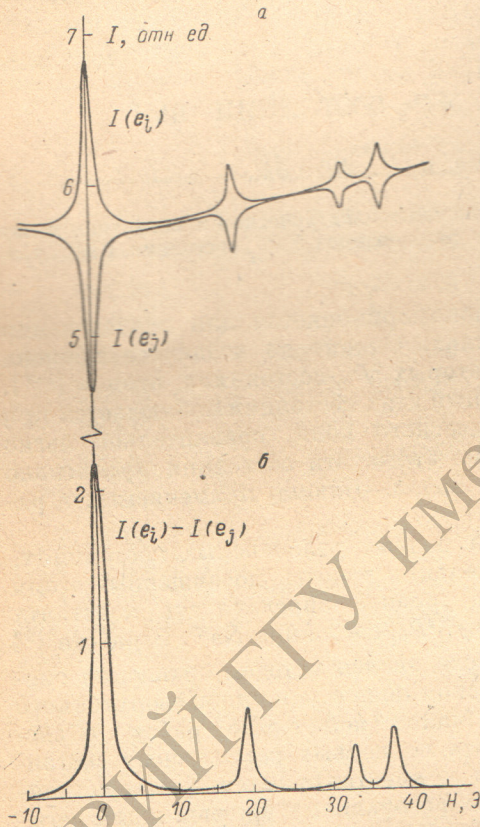


Рис. 1. Вид интерференционных сигналов пересечений в двух ортогональных поляризациях  $i$  и  $j$  (а) и их разности (б).

4 в направлении, перпендикулярном внешним полям. Лампа помещалась в термостабилизированную печь. Параллельный пучок света проходил через поляризатор 5 и затем фокусировался в центр межэлектродного пространства. Выбранные направления облучения и поляризации обеспечивали когерентное заселение магнитных подуровней с  $\Delta m_F = \pm 2$ . Детектирование интерференционных сигналов осуществлялось по двухканальной схеме регистрации. Параллельный пучок света флуоресценции с помощью поляризационной призмы 6 разделялся на два пучка взаимно ортогональных поляризацій  $i$  и  $j$ , которые регистрировались ФЭУ-62.

Сигналы с фотоумножителей поступали на вход дифференциального усилителя (ДУ). Выходной сигнал с усилителя, соответствующий разности интенсивностей  $I(e_i) - I(e_j)$  с помощью преобразователя  $u \rightarrow f$  — напряжение — частота преобразовывался в последовательность импульсов, которые через блок управления поступали на накапливающее устройство АИ-128-2. Скорость переключения каналов задавалась внешним запуском генератором (ГИ), вырабатывавшим импульсы с частотой 1 Гц. С блоком управления был связан генератор ступенчатого пилообразного напряжения (ГПН), задававший синхронно с переключением каналов анализатора, изменение магнитного поля. Ток с генератора пилообразного напряжения усиливался с помощью усилителя тока (УТ) и проходил через катушки Гельмгольца. Другая пара катушек питалась от сети постоянного тока и служила для создания магнитного поля смещения. Постоянные катушки определялись методом магнитного резонанса на оптически накаченных парах цезия и равнялись соответственно  $(27.75 \pm 0.02)$  и  $(36.83 \pm 0.02)$  Э/А. Во время эксперимента ток, протекающий через катушки Гельмгольца, контролировался с помощью эталонного сопротивления ( $R_s$ ) и цифрового вольтметра (ЦВ). Точность определения напряженности магнитного поля была не хуже 1.1%.

Для  $5^2P_{3/2}$ -состояния  $\text{Rb}^{87}$  в области магнитных полей от 0 до 120 Э наблюдаются три пересечения магнитных подуровней с  $\Delta m_F = \pm 2$ , причем первое практически не чувствительно к электрическому полю. Поэтому константа Штарка  $\beta_j$  определялась по второму и третьему пересечениям. При регистрации этих сигналов магнитное поле изменялось от

~80 до ~135 Э. Одна пара катушек Гельмольца создавала постоянное поле смещения ~80 Э, другая — переменное от 0 до 55 Э. Среднее время накопления одной экспериментальной кривой составляло ~60 мин. В качестве примера на рис. 3 представлены сигналы второго и третьего пересечений  $5^2P_{3/2}$ -состояния Rb<sup>87</sup>.

Величина тензорной поляризуемости  $\beta_j$  находилась сравнением экспериментальных сигналов с семейством теоретических, рассчитанных при различных наборах параметров.

Теоретическое описание сигналов пересечений проводилось в формализме матрицы плотности, расчет осуществлялся на ЭВМ. Схема расчета

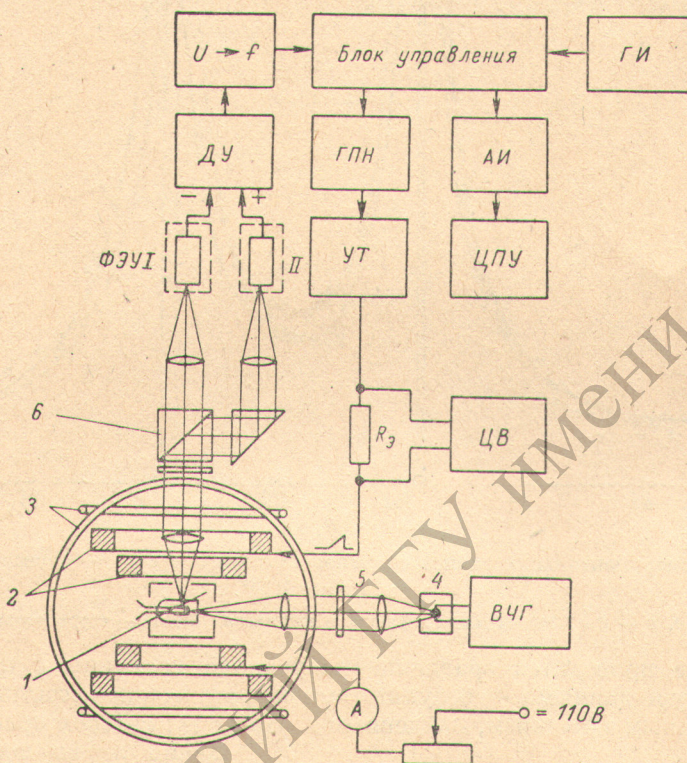


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для наблюдения сигналов пересечений.

описана в [5]. Вид интерференционных сигналов параметрически зависит от многих величин:  $A$  — констант сверхтонкой структуры,  $B$  — констант магнито-дипольного и электрического квадрупольного взаимодействий,  $g_j$  и  $g'_j$  — электронного и ядерного  $g$ -факторов Ланде,  $\Gamma$  — обратного времени жизни уровня,  $\gamma$  — параметра, характеризующего соотношение интенсивностей сверхтонких компонент  $5^2P_{3/2} - 5^2S_{1/2}$  ( $F=2$ ) и  $5^2P_{3/2} - 5^2S_{1/2}$  ( $F=1$ ) в облучающем свете,  $\beta_j$  — тензорной поляризуемости. При расчете  $g$ -факторы полагались известными:  $g_j = 1.3362$  [10],  $g'_j = -0.000995$  [11]. Константы  $A$  и  $B$  были найдены по положениям трех сигналов пересечений в «чистом» магнитном поле:  $A = (84.84 \pm 0.05)$  МГц,  $B = (12.50 \pm 0.20)$  МГц. Значения  $\gamma$  и  $\Gamma$  находились для каждой экспериментальной кривой по областям кривой, наиболее чувствительным к данным параметрам. Для определения величины тензорной поляризуемости подбиралась теоретическая кривая (а следовательно, и значение  $\beta_j$ ), наилучшим образом описывающая данную экспериментальную. Критерием наилучшего совпадения являлся минимум суммы квадратов отклонений кривых. На рис. 3 показаны теоретические кривые (сплошная и штриховая линии), наилучшим образом совпадающие с экспериментальными.

Найденное значение константы Штарка  $\beta_j$   $5^2P_{3/2}$ -состояния  $Rb^{87}$  равно  $\beta_j = (0.020 \pm 0.002)$  МГц/(кВ/см)<sup>2</sup>. Приведенная ошибка представляет собой среднеквадратичную ошибку отдельного результата измерения.

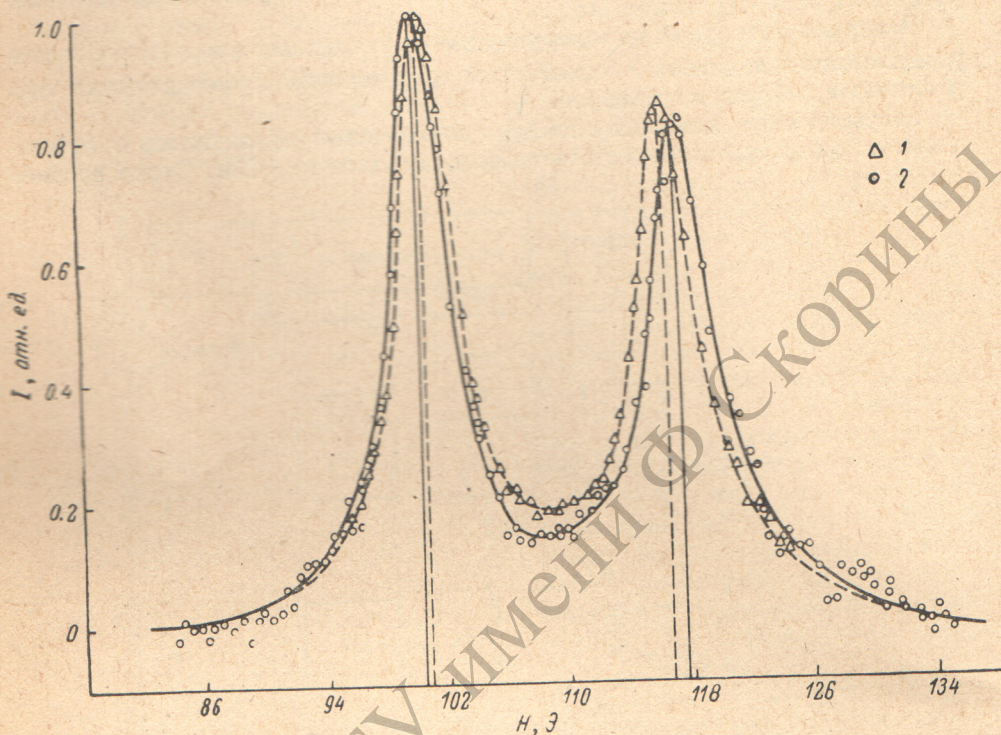


Рис. 3. Экспериментальная запись сигналов второго и третьего пересечений  $5^2P_{3/2}$ -состояния  $Rb^{87}$ .

1 —  $E=0$ , 2 —  $E=7.716$  кВ/см. Сплошная и штриховая линии — теоретический расчет.

В таблице проводится сравнение полученной величины с имеющимися в литературе данными — результатами теоретических расчетов и с экспериментальным значением, найденным в работе [9] методом сравнения смещения линии поглощения в электрическом поле с расщеплением сверхтонкой структуры основного состояния.

$\beta_j$ , МГц/(кВ/см) <sup>2</sup>	Ссылка
0.0195	[12]
0.0180	[9]
0.0185	[1]
	} теория
$0.020 \pm 0.003$	[9]
$0.020 \pm 0.002$	Настоящая работа
	} эксперимент

Систематическая ошибка в определении константы  $\beta_j$  связана главным образом с неточностью определения напряженностей магнитного (1.1%) и электрического (0.85%) полей. Погрешность измерения напряженности

электрического поля складывается из ошибок измерения расстояния между электродами (0.2%) и прикладываемого к ним напряжения (0.15%), а также неоднородности поля (0.5%). Вследствие того что напряженность электрического поля входит в расчет как  $E^2$ , то ошибка, с ней связанная, будет составлять 1.7%. В результате возможная систематическая ошибка определения константы Штарка  $\beta_j$  равна 2.8%.

Авторы приносят благодарность М. П. Чайке за ценные советы.

#### Литература

- [1] R. W. Schmieder, A. Lurio, W. Harper. Phys. Rev., A3, 1209, 1971.  
 [2] A. Khadjavi, A. Lurio, W. Harper. Phys. Rev., 167, 128, 1968.

- [3] Г. И. Хвостенко, М. П. Чайка. Опт. и спектр., 25, 450, 1968.
- [4] Л. А. Воликова, В. Н. Григорьева, Г. И. Хвостенко, М. П. Чайка. Опт. и спектр., 30, 170, 1971.
- [5] В. Н. Григорьева, Г. И. Хвостенко, М. П. Чайка. Опт. и спектр., 34, 1224, 1973.
- [6] B. Budik, S. Marcus, R. Novik. Phys. Rev., 140A, 1041, 1965.
- [7] J. Hadijnana, D. Zimmermann. Phys. Lett., 37A, 107, 1971.
- [8] D. Zimmermann. Z. f. Naturforsch., 25a, 196, 1970.
- [9] R. Marrus, D. McColm, J. Yellin. Phys. Rev., 147, 55, 1966.
- [10] G. Belin, S. Svanberg. Physica Scripta, 4, 269, 1971.
- [11] C. White et al. Phys. Rev., 174, 23, 1968.
- [12] K. Murakawa, M. Yamamoto. J. Phys. Soc. Japan, 20, 1057, 1965.
- [13] Е. Н. Котликов. Вестн. ЛГУ, сер. физ. хим., 10, 159, 1976; ВИНТИ № 1772-76 Деп.

Поступило в Редакцию 17 декабря 1976 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИН