

СМЕЩЕНИЕ ЧАСТОТЫ ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА В ПОЛЕ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Е.Б.Александров, А.М.Бонч-Бруевич, Н.Н.Костин,
В.А.Ходовой

Нами наблюдалось смещение частоты оптического резонансного перехода в парах калия на величину порядка 10^9 гц под действием мощного импульса рубинового лазера.

Смещение ΔW_i энергии уровня i под действием электрического поля световой волны $E=2E_0 \cos \omega t$ дается формулой [1]:

$$\Delta W_i = \sum_k \left\{ \frac{| \langle i | \vec{d} \vec{E}_0 | k \rangle |^2}{E_i - E_k + \hbar \omega} + \frac{| \langle i | \vec{d} \vec{E}_0 | k \rangle |^2}{E_i - E_k - \hbar \omega} \right\}, \quad (1)$$

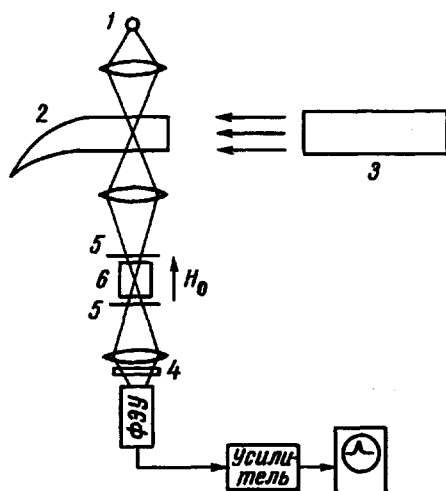
где E_i и E_k - энергии состояний i - и k - атома; $\langle i | \vec{d} \vec{E}_0 | k \rangle$ - матричный элемент дипольного перехода между состояниями i и k .

В отличие от формулы, описывающей смещение уровней в постоянном электрическом поле (эффект Штарка), смещение в поле световой волны может увеличиваться резонансно при приближении энергии кванта света $\hbar \omega$ к энергии переходов атома $E_k - E_i$.

В эксперименте исследовался сдвиг частоты оптического резонансного перехода $4S_{1/2} - 4P_{1/2}, 3/2$ калия (главный дублет). Можно показать, что ожидаемое смещение частоты этого перехода связано, главным образом, с виртуальными переходами под действием импульса

лазера с основного ($4S_{1/2} - 4P_{1/2,3/2}$) и возбужденного ($4P_{3/2} - 6S_{1/2}$) уровней. Первая пара переходов еще довольно далека от резонансов (длины волн переходов 7665 и 7699Å, а у лазера - 6943Å). Переход $4P_{3/2} - 6S_{1/2}$ много ближе к резонансу ($\lambda = 6939 \text{ \AA}$). Несмотря на это, все эти переходы дают сравнимый вклад в искомый эффект смещения частоты исследуемого перехода вследствие различия в силах осцилляторов [3]. Существенно, что в данном случае основной и возбужденные уровни смещаются под действием света рубинового лазера навстречу друг другу.

Эксперимент был поставлен следующим образом. Сосуд 2 с насыщенными при 100°C парами калия просвечивался светом калиевой лампы I (см. рисунок). При выбранной температуре пары поглощали около 80%



ее резонансного излучения. Ожидалось увеличение пропускания света сосудом 2 во время действия импульса лазера 3, если возникающее смещение частоты перехода соизмеримо с шириной линии излучения лампы (предполагалось, что эта линия шире линии поглощения паров). Пропускание резонансного света регистрировалось с помощью ФЭУ с выходом на импульсный осциллограф (4 - стеклянные фильтры).

В канале регистрации рассеянное излучение лазера надежно отрезалось фильтрами ФС-7. Тем не менее, предварительными опытами

было установлено, что импульс лазера сопровождается рассеянным излучением со спектральными компонентами в районе регистрируемой калиевой линии. Механизм возникновения этого излучения до конца не выяснен. Для борьбы с ним был применен специальный метод фильтрации резонансной линии с помощью эффекта Фарадея [4]. Луч света от калиевой лампы, прошедший через сосуд 2, пропускался через вспомогательную кювету 6 с парами калия, помещенную между скрещенными поляризаторами 5. На кювету 6 накладывается местное магнитное поле около 2 кэ.В магнитном поле, кроме расщепления линии поглощения, наблюдается сильное вращение плоскости поляризации света, причем только в ближайшей окрестности оптического резонанса, вследствие чего при надлежащем подборе напряженности магнитного поля система почти полностью пропускает резонансную линию, поглощая посторонний свет. Все устройство работает как светосильный оптический фильтр с полосой пропускания порядка $0,1 \text{ см}^{-1}$.

В описанных условиях был зарегистрирован четкий сигнал уменьшения поглощения резонансного света атомами калия в сосуде 2 за время действия импульса лазера (20 нсек), работающего в моноимпульсном режиме за счет применения просветляющихся фильтров КС-19. Амплитуда сигнала соответствовала просветлению калиевого пара на десятки процентов. Чтобы убедиться, что наблюдаемое изменение поглощения света не связано с теми или иными экспериментальными ошибками, было проверено, что: 1) сигнал исчезал при выключении калиевой лампы; 2) сигнал исчезал при вымораживании паров калия в сосуде 2 (при этом засветка ФЭУ поддерживалась на прежнем уровне); 3) сигнал исчезал при форсировании режима лампы I, что, как показали наблюдения, приводило к уширению линии излучения.

Минимальная плотность мощности излучения лазера, при которой возникал сигнал просветления, была $\sim 10 \text{ Мвт/ см}^2$, что соответствует напряженности электрического светового поля 10^5 в/см . Полуширина спектральной линии излучения оценивается около $3 \cdot 10^9 \text{ гц}$, следовательно, наблюдавшееся смещение было того же порядка.

Следует отметить, что осуществление такого же смещения уровней в постоянном электрическом поле потребовало бы полей с напряженностью порядка 10^6 в/см, что лежит на грани возможности постановки опыта. Между тем, получение такого поля в световой волне (без возникновения пробоя в парах малой плотности) сейчас вполне доступно. Таким образом, использование лазеров дает новые возможности исследования эффекта Штарка в системах с частотами переходов как близкими, так и далекими от частоты излучения лазера.

Авторы благодарны Д.А.Годиной за высококачественные поляроиды.

Государственный ордена Ленина
Оптический институт им. С.И.Вавилова

Поступило в редакцию
30 ноября 1965 г.

Литература

- [1] В.Гайтлер. Квантовая теория излучения, М.-Л., Гостехиздат, 1956.
- [2] A.Kastler. J.Opt.Soc.Amer., 53, 903, 1963.
- [3] D.S.Villars. J.Opt. Soc. Amer., 42, 552, 1952.
- [4] Е.Б.Александров. Оптика и спектроскопия, 19, 455, 1965.

1) В радиочастотной области группой Кастлера [2] недавно наблюдалось малое относительное смещение (порядка 1 гц) магнитных ядерных подуровней основного состояния ртути под действием резонансного излучения 2537 \AA .