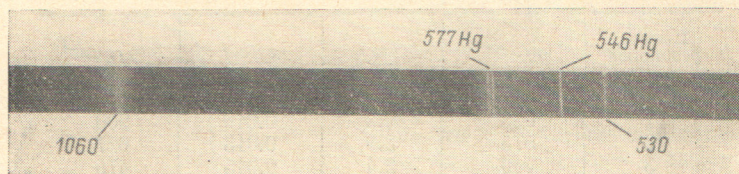


Вторая гармоника ($\lambda=0,53$ мкм) возникала только при приложении к образцу внешнего электрического поля, создающего индуцированную поляризацию в кристалле.



При увеличении внешнего поля интенсивность гармоники, как и следовало ожидать, увеличивалась. Изменение интенсивности гармоники в зависимости от величины приложенного поля качественно наблюдалось при помощи ФЭУ-31 и осциллографа С1-29.

Литература

- [1] С. А. Ахманов, Р. В. Хохлов. Проблемы нелинейной оптики. М., 1964.
- [2] D. Meyerhofer. Phys. Rev., 112, 413, 1958.
- [3] W. J. Merz. Phys. Rev., 91, 513, 1953.

Поступило в Редакцию 11 марта 1971 г.

УДК 539.186

О СВЯЗИ МЕЖДУ ОПТИЧЕСКИМ УШИРЕНИЕМ И ДЕПОЛЯРИЗАЦИЕЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТОЛКНОВЕНИЙ

Ю. В. Евдокимов и Н. И. Калитеевский

Вопрос об уширении и сдвиге спектральных линий из-за столкновений излучающих атомов с другими атомами или молекулами уже давно привлекает внимание физиков. В современной трактовке изменение частотных характеристик излучения (оптическое уширение и сдвиг) связано с изменениями временной зависимости дипольного момента перехода, вызванными столкновениями.

С появлением резонансных методов, в которых фактически не используется разложение излучения по частотам (методы пересечения уровней, двойного резонанса, оптической ориентации), резко возрос интерес к деполаризующим столкновениям, которые, индуцируя переходы между зеемановскими подуровнями, приводят к деполаризации излучения и связанному с ней уширению кривых Ханле и двойного резонанса.

Хотя уширению спектральных линий и деполаризации излучения при столкновениях посвящено большое число работ, практически отсутствуют исследования, в которых оба эти явления изучались бы одновременно. В то же время совместное изучение уширения и деполаризации при столкновениях может дать более полную информацию о характере взаимодействия сталкивающихся частиц и о влиянии этих взаимодействий на оптические характеристики излучающих атомов. Такая серия работ [5, 8, 17, 23, 29-31] была проведена в нашей лаборатории. При этом было установлено, что для одних переходов $\sigma_{\text{опт.}} = \sigma_{\text{деп.}}$ ($5^1P_1 - 5^1S_0$ Cd), в то время как для других $\sigma_{\text{опт.}}/\sigma_{\text{деп.}} > 100$ ($7^2S_{1/2} - 6^2P_{1/2, 3/2}$ Tl). Эти результаты не противоречили проведенным квантовомеханическим расчетам [32], но в целом проблема требует подробного обсуждения с использованием всех имеющихся данных.

В рамках простой модели легко установить, чем отличаются уширяющие и деполаризующие столкновения. При пролете возмущающей частицы на излучающий атом накладывается внешнее электрическое поле. В результате положение уровней энергии атома меняется во времени. Это изменение энергии уровней (как в основном, так и в возбужденном состоянии) во внешнем поле атома примесного газа приводит к оптическому уширению и сдвигу спектральной линии.

Для деполаризации излучения существенно воздействие только на возбужденный уровень. При этом столкновения должны вызывать переходы между магнитными подуровнями возбужденного состояния. Для этого необходимо, чтобы подуровни с различными значениями магнитного квантового числа m по-разному вели себя во внешнем поле атома примесного газа, т. е. для деполаризации излучения нужны некоторые дополнительные условия, в то время как уширение спектральных линий при столкновениях происходит всегда.

Исходя из этого, можно предположить, что эффективное сечение деполаризующихся столкновений, как правило, будет меньше соответствующего эффективного сечения уширяющих столкновений ($\sigma_{\text{деп.}} \leq \sigma_{\text{опт.}}$).

Рассмотрим таблицу, в которую сведены результаты измерений эффективных сечений упирающих и деполаризующих столкновений. В таблице приведены полные сечения столкновений $\sigma = \pi r^2$. В тех случаях, когда измерения эффективных сечений проводились с различными изотопами, в таблице даны результаты для одного из изотопов, так как данные для разных изотопов различаются не больше, чем на 10%.

Спектральная линия	Посторонний газ	$\sigma_{\text{деп.}}, 10^{-14} \text{ см}^2$		$\sigma_{\text{опт.}}, 10^{-14} \text{ см}^2$	$\sigma_{\text{опт.}}/\sigma_{\text{деп.}}$
		$\sigma_{\text{пл.}}$	$\sigma_{\text{круг.}}$		
$4^1P_1-4^1S_0$	He	0.70 [2]	—	0.68 [3], 0.78 [4]	1.0 ÷ 1.1
	Ne	1.2 [2]	—	0.74 [3]	0.6
	Ar	1.9 [1], 1.9 [2]	—	1.79 [3]	1.0
	Xe	2.9 [2]	—	2.45 [3]	0.8
$5^1P_1-5^1S_0$	He	0.8 [5]	—	0.8 [5]	1.0
	Ar	2.8 [5]	—	2.7 [5]	1.0
	Xe	4.1 [5]	—	4.3 [5]	1.0
$5^3P_1-5^1S_0$	He	0.5 [6], 0.44 [7]	—	1.0 [8]	2.0 ÷ 2.3
	Ar	0.81 [6], 0.94 [7]	—	3.0 [8]	3.2 ÷ 3.7
	Xe	1.65 [6], 1.9 [7]	—	3.7 [8]	1.9 ÷ 2.2
$6^3P_1-6^1S_0$	He	0.38 [9], 0.35 [10], 0.40 [11], 0.39 [12]	0.44 [12] 0.45 [11]	0.66 [13], 0.67 [14] 0.47 [15]	1.0 ÷ 1.9
	Ne	0.41 [9], 0.42 [10], 0.46 [11]	0.60 [11]	—	1.0 ÷ 2.7
	Ar	0.91 [9], 0.63 [10], 0.83 [11]	— 1.0 [11]	0.69 [13], 1.1 [14] 2.7 [16], 1.95 [14] 1.9 [15]	1.9 ÷ 4.3
		Na	0.7 [17], 1.2 [17]	—	3.6 [18], 2.6 [14]
$5^2P_{3/2}-5^2S_{1/2}$	He	1.0 [19]	—	2.0 [21]	2.0
	Ar	2.0 [19], 2.1 [20]	2.3 [20]	6.0 [21]	2.8 ÷ 4.6
$6^2P_{3/2}-6^2S_{1/2}$	He	1.0 [22], 1.6 [23], 1.85 [23]	—	1.9 [24]	1.0 ÷ 1.9
	Ne	0.9 [22]	—	1.2 [25]	1.3
	Ar	1.9 [22], 3.5 [23], 3.2 [23]	— —	4.0 [26]	1.1 ÷ 2.1
		Kr	2.9 [22]	—	2.8 [27]
Xe	3.5 [22]	—	3.0 [28]	0.9	
$7^2P_{3/2}-6^2S_{1/2}$	Ar	5.7 [23]	6.3 [29]	12 [30], 12 [26]	1.9 ÷ 2.1
$5^2P_{1/2}-5^2S_{1/2}$	He	—	0.090 [20]	1.6 [21]	18
	Ar	—	0.097 [20]	4.5 [21]	46
$6^2P_{1/2}-6^2S_{1/2}$	He	—	0.021 [20]	2.1 [24]	100
	Ne	—	0.008 [20]	1.2 [25]	150
	Ar	—	0.017 [20]	4.0 [26]	225
$7^2P_{1/2}-6^2S_{1/2}$	Ar	—	0.11 [29]	14 [26], 15 [30]	130 ÷ 140
$7^2S_{1/2}-6^2P_{1/2}$	He	—	0.00 ± 0.01 [31]	1.15 [31]	115
	Ar	—	0.00 ± 0.01 [31]	3.1 [31]	310
$7^2S_{1/2}-6^2P_{3/2}$	He	—	0.00 ± 0.01 [31]	0.90 [31]	90
	Ar	—	0.00 ± 0.01 [31]	2.4 [31]	240

В таблице приводятся отдельно эффективные сечения деполаризующих столкновений в случае круговой и плоской поляризации — $\sigma_{\text{круг.}}$ и $\sigma_{\text{пл.}}$. Из рассмотрения таблицы видно, что для резонансных линий кальция и кадмия (переход $1^1P_1-1^1S_0$) эффективные сечения упирающих и деполаризующих столкновений приблизительно равны по величине. Это хорошо согласуется с упомянутыми выше результатами квантовомеханических расчетов [32]. Мало отличаются по величине $\sigma_{\text{опт.}}$ и $\sigma_{\text{деп.}}$ и для перехода $6^2P_{3/2}-6^2S_{1/2}$ цезия. Правда, в этом случае наблюдается большой разброс экспериментальных данных. Во всех же остальных случаях $\sigma_{\text{опт.}} > \sigma_{\text{деп.}}$. Причем, если для переходов $3^1P_1-1^1S_0$, $2^1P_{3/2}-2^1S_{1/2}$ эти сечения

отличаются в несколько раз, то для переходов ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$ и ${}^2S_{1/2} \rightarrow {}^2P_{1/2, 3/2}$ $\sigma_{\text{опт.}}$ более чем на порядок превышает $\sigma_{\text{деп.}}$.

В этом случае малая величина $\sigma_{\text{деп.}}$ обусловлена тем, что в возбужденном состоянии $J=1/2$. Если рассматривать столкновения в приближении вандерваальсова взаимодействия, то $\sigma_{\text{деп.}}$ для уровня с $J=1/2$ должно быть равно нулю. Действительно, вандерваальсово взаимодействие является электростатическим, поэтому оно не снимает вырождения по магнитному квантовому числу m : $C(m) = C(-m)$. Эффективное сечение деполаризующих столкновений определяется разностью значений постоянных Вандер-Ваальса в возбужденном состоянии, и так как $C(1/2) = C(-1/2)$, то $\sigma_{\text{деп.}} = 0$. Другими словами, воздействие столкновения проявляется в появлении фазового множителя для уровня с $J=1/2$, однако он одинаков для магнитных подуровней с $m = \pm 1/2$, и дополнительная деполаризация излучения отсутствует. Оптический же уширение, обусловленное воздействием внешнего поля на оба уровня, переход между которыми исследуется в этом случае, конечно, имеет место.

Экспериментальные значения $\sigma_{\text{деп.}}$ при $J=1/2$ оказываются отличными от нуля. Так, например, для столкновений атомов щелочных металлов в ${}^2P_{1/2}$ -состоянии с атомами инертных газов наблюдаются эффективные сечения $\sigma_{\text{деп.}} \sim 10^{-15}$ см². Эта аномалия была истолкована Никитиным с сотрудниками [33] в рамках модели, учитывающей взаимодействие ${}^2P_{3/2}$ - и ${}^2P_{1/2}$ -состояний, эквивалентное возникновению своеобразной квазимолекулы.

В целом можно считать, что экспериментальные данные по эффективным сечениям уширяющих и деполаризующих столкновений удовлетворительно согласуются с теоретическими расчетами и могут быть качественно истолкованы в рамках охарактеризованной выше относительно простой физической модели.

Авторы благодарят М. П. Чайку за дискуссию.

Литература

- [1] W. Smith, A. Gallagher. *Phys. Rev.*, **145**, 26, 1966.
- [2] W. Ermish. *Ann. Phys.*, **18**, 379, 1966.
- [3] Н. П. Пенкин, Л. Н. Шабанова. *Опт. и спектр.*, **25**, 795, 1968.
- [4] W. Hindmarsh. *Monthly Notices Roy. Astr. Soc.*, **119**, 11, 1959.
- [5] Ю. В. Евдокимов. Тез. докл. IV Всесоюз. конф. по физике электронных и атомных столкновений. Рига, 1969.
- [6] R. Varger. *Phys. Rev.*, **154**, 94, 1967.
- [7] B. Lanierse, J. Barrat. *C. R. Acad. sci.*, **264**, 146, 1967.
- [8] Ю. В. Евдокимов, Н. И. Калитеевский, М. П. Чайка. *Опт. и спектр.*, **27**, 186, 1969.
- [9] C. Pickett-Rives, F. Grossetete, J. Brossel. *C. R. Acad. sci.*, **B258**, 1189, 1964.
- [10] D. Cunningham, L. Olsen. *Phys. Rev.*, **119**, 691, 1960.
- [11] J. Barrat, D. Casalta, J. Cojan, J. Hamel. *J. Phys.*, **27**, 608, 1966.
- [12] J. Faroux, J. Brossel. *C. R. Acad. sci.*, **B261**, 3092, 1965.
- [13] J. Butaux, R. Lennuier. *C. R. Acad. sci.*, **B261**, 671, 1965.
- [14] P. Kunze. *Ann. Phys.*, **8**, 500, 1931.
- [15] А. Митчелл, М. Земанский. Резонансное излучение и возбужденные атомы. М.—Л., 1951.
- [16] C. Füchtbauer, G. Joos, O. Dinkelacker. *Ann. Phys.*, **71**, 204, 1923.
- [17] Г. В. Маркова. Тр. Всесоюз. совещ. по спектроскопии, Ереван, 1966.
- [18] H. Margenau, W. Watson. *Phys. Rev.*, **44**, 92, 1933.
- [19] Р. Житников, П. Кулешов, А. Окуневич, Б. Севастьянов. *ЖЭТФ*, **58**, 831, 1970.
- [20] A. Gallagher. *Phys. Rev.*, **157**, 68, 1967.
- [21] S. Y. Ch'en. *Phys. Rev.*, **58**, 1051, 1940.
- [22] J. Fricke, J. Haas, E. Lüscher, F. Franz. *Phys. Rev.*, **163**, 45, 1967.
- [23] Г. В. Маркова, Г. И. Хвостенко, М. П. Чайка. *Опт. и спектр.*, **23**, 835, 1967.
- [24] R. Garrett, S. Y. Ch'en. *Phys. Rev.*, **144**, 66, 1966.
- [25] R. Garrett, S. Y. Ch'en, E. C. Looi. *Phys. Rev.*, **156**, 48, 1967.
- [26] S. Y. Ch'en, R. O. Garrett. *Phys. Rev.*, **144**, 59, 1966.
- [27] S. Y. Ch'en, E. C. Looi, R. O. Garrett. *Phys. Rev.*, **155**, 38, 1967.
- [28] S. Ch'en, D. Gilbert, D. Tan. *Phys. Rev.*, **184**, 51, 1969.
- [29] Э. Л. Альтман, Ю. В. Евдокимов. *Опт. и спектр.*, **29**, 809, 1970.
- [30] Ю. В. Евдокимов. *Опт. и спектр.*, **24**, 832, 1968.
- [31] Ю. В. Евдокимов, М. П. Чайка, В. А. Черенковский. *Опт. и спектр.*, **27**, 184, 1969.
- [32] В. Н. Ребане. *Опт. и спектр.*, **26**, 673, 1969.
- [33] Е. П. Гордеев, Е. Е. Никитин, М. Я. Овчинникова. *Опт. и спектр.*, **30**, 185, 1971.

Поступило в Редакцию 11 марта 1971 г.