

УДК 537.226+538.567

ФИЗИКА

В. М. Арутюнян, Н. Н. Бадалян, В. А. Ирадян, М. Е. Мовсисян

## Уширение спектра излучения при прохождении через резонансную среду

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 20/III 1969)

При прохождении интенсивного излучения через нелинейную среду происходит модуляция диэлектрической проницаемости среды, что приводит к временной модуляции фазы поля. Такая модуляция должна привести к уширению спектральной линии при прохождении через нелинейную среду. Этот эффект для нерезонансных сред теоретически исследован (<sup>1</sup>).

Экспериментально эффект фазовой модуляции, приводящий к появлению дискретной полосы частот вокруг падающей, наблюдался в нелинейных жидкостях рядом авторов (например (<sup>2-3</sup>)). В газообразной среде при больших давлениях (1--150 атмосфер) уширение спектральных линий наблюдали недавно в (<sup>4</sup>).

В настоящей работе теоретически и экспериментально исследован эффект уширения линии в резонансной среде — в парах атомарного калия, при существенно меньших давлениях (0,05—1,5 мм) ртутного столба) и плотностях ( $\sim 10^{16}$  см<sup>-3</sup>), когда нелинейность среды достигается за счет близости к резонансу.

Уравнения, описывающие прохождение когерентного излучения через резонансную среду без учета реального поглощения имеют вид (<sup>5</sup>):

$$\frac{da}{dx} + \frac{1}{c} \frac{da}{dt} = -pr,$$

$$\frac{dp}{dt} + i\varepsilon p = a \sqrt{1 - q^2 |p|^2},$$

где  $a$  — медленно изменяющаяся амплитуда поля,  $p$  — ток перехода,  $\varepsilon = \omega_0 - \omega'$  — расстройка резонанса. Кроме того

$$p = \frac{2\pi |M|^2 n}{\omega' ch}, \quad q = \frac{2 |M|}{ch},$$

где  $|M|$  — матричный элемент перехода,  $n$  — плотность атомов. Если спектральная ширина излучения много меньше  $\varepsilon$  и  $q^2 |a|^2 / 2\varepsilon^2 \ll 1$  (сла-

бая нелинейность), то можно в (1) считать  $\left| \frac{\partial \rho}{\partial t} \right| \ll \epsilon$  и получить следующее уравнение для  $a$ :

$$\frac{\partial a}{\partial t} + \frac{1}{c} \frac{\partial a}{\partial x} = \frac{i\rho}{\epsilon} \left( 1 - \frac{q^2 |a|^2}{2\epsilon^2} \right) a. \quad (3)$$

Это уравнение легко решается

$$a(t, x) = a\left(t - \frac{x}{c}, 0\right) e^{i \frac{\rho}{\epsilon} x \left[ 1 - \frac{q^2}{2\epsilon^2} |a\left(t - \frac{x}{c}, 0\right)|^2 \right]}, \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что при прохождении через резонансную среду происходит фазовая модуляция, причем глубина [модуляции] порядка  $\lambda = \frac{\rho q^2}{2\epsilon^2} |a_{\max}|^2 x$ . Если спектральная ширина интенсивности  $\Gamma$ , то из-за фазовой модуляции происходит дополнительное уширение  $\lambda\Gamma$  и этот эффект можно заметить, если  $\lambda\Gamma$  порядка спектральной ширины поля.

Приведем также форму линии прошедшего через среду излучения, если падающее излучение состоит из  $m_0$  мод, несвязанных по фазе друг с другом. Если расстояние между модами  $\Omega$ , а форма линии каждой моды гауссова, то нормированная спектральная плотность имеет вид:

$$J(\omega, x) = \left[ 1 + 4 \left( \frac{\lambda\Gamma}{m_0\Omega} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \exp \left\{ - \frac{(\omega - \omega')^2}{m_0^2\Omega^2 \left[ 1 + 4 \left( \frac{\lambda\Gamma}{m_0\Omega} \right)^2 \right]} \right\}. \quad (5)$$

Из (5) видно, что эффективная ширина после прохождения через среду равна  $(m_0^2\Omega^2 + 4\lambda^2\Gamma^2)^{1/2}$ , в то время как ширина линии падающего излучения  $m_0\Omega$ .

Схема экспериментальной установки для исследования спектральных характеристик мощного излучения, прошедшего через резонансную среду, приведена на рис. 1. Излучение вынужденного комбина-

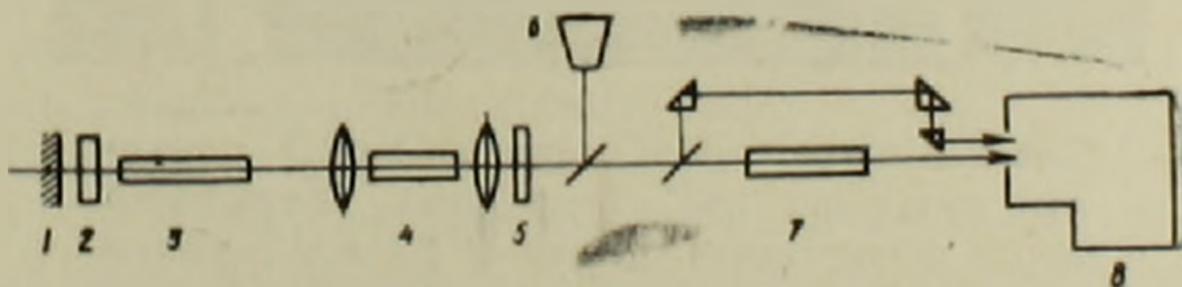


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
1 — зеркало  $R = 99\%$ ; 2 — пассивный затвор; 3 — рубиновый стержень; 4 — кювета с органической жидкостью; 5 — фильтр ФС-7; 6 — калориметр; 7 — кювета с парами калия; 8 — спектрограф

ционного рассеяния (ВКР) органической жидкости, возбужденное рубиновым квантовым генератором с модулированной добротностью ( $\sim 15 \text{ Мвт}$ ), направлялось в кювету с парами атомарного калия, по-

сле чего попадало на щель спектрографа. Часть падающего излучения расщеплялась и направлялась на верхнюю часть щели спектрографа, минуя кювету с парами калия. Эксперименты проводились как с фокусировкой в кювету, так и без нее, с кюветами различных длин от 2 до 12 см. Температура кюветы с парами калия варьировалась от 250 до 350°C. Для устранения рубинового излучения на частоте 14400  $\text{см}^{-1}$  ставился фильтр ФС-7. Одновременно измерялась и энергия в падающем пучке. Для регистрации спектров был использован спектрограф ИСП-51 (дисперсия в области 13000  $\text{см}^{-1} \sim 30 \text{ \AA} \text{ мм}$ ). Интенсивность линий определялась методом фотографической фотометрии.

Выбор среды для получения ВКР определялся требованием близости частоты ВКР к частоте резонансных переходов в калии

$$4P_{1/2} - 4P_{3/2} (13043 \text{ см}^{-1}) \text{ и } 4P_{1/2} - 4S_{1/2} (12986 \text{ см}^{-1}).$$

Были взяты I стоксовая компонента нитробензола с частотой 13055  $\text{см}^{-1}$ , II стоксовая компонента хлороформа с частотой 13066  $\text{см}^{-1}$  (расстройка от частоты резонансного перехода в калии  $4P_{1/2} - 4S_{1/2}$  соответственно 12 и 23  $\text{см}^{-1}$ ) и II стоксовая компонента ортоксилола (частота 12940  $\text{см}^{-1}$ ) с расстройкой от частоты перехода  $4P_{1/2} - 4S_{1/2}$  46  $\text{см}^{-1}$ .

Изменение падающей на кювету с калием интенсивности достигалось помещением перед ней стеклянных пластин. При этом пластины ставились и после кюветы, так чтобы суммарное количество пластин на пути пучка в данной серии оставалось неизменным.

При пропускании излучения II стоксовой компоненты ВКР хлороформа в кювету с парами калия на спектрах наблюдается значительное уширение этой спектральной линии падающего излучения, особенно возрастает интенсивность крыла линии. Это хорошо видно на рис. 2, где приведена спектрограмма излучения. На спектрограм-



Рис. 2. Спектрограмма излучения I и II стоксовых компонент ВКР хлороформа, прошедшего через пары калия (давление 0,7 мм ртутного столба). Для сравнения приведен спектр падающего излучения

ме наблюдается резонансное поглощение калия на частоте 13043  $\text{см}^{-1}$ , причем имеется еще заметной интенсивности крыло за этой линией поглощения.

Наблюдаемое уширение мы связываем с близостью частоты этой линии излучения к частоте резонансного перехода атомов калия, так как другие линии, присутствующие в падающем излучении I и III

стоксовые компоненты ВКР хлороформа) не претерпевают заметных уширений.

Уширение спектральной линии увеличивалось с увеличением интенсивности, а также с увеличением давления паров калия. При уменьшении интенсивности в падающей линии в 5 раз (при постоянном давлении) уширение уменьшалось от  $30 \text{ см}^{-1}$  до почти полного отсутствия. В серии экспериментов излучение фокусировалось в кювету с калнем, при этом достигалось увеличение падающей интенсивности и соответственно наблюдалось большее уширение. Однако основные наблюдения и измерения делались с несфокусированным лучком. В интервале изменения давления паров калия от 0,05 до 1,5 мм ртутного столба (т. е. в 30 раз) уширение на крыле линии менялось от нескольких  $\text{см}^{-1}$  до  $\sim 40 \text{ см}^{-1}$ .

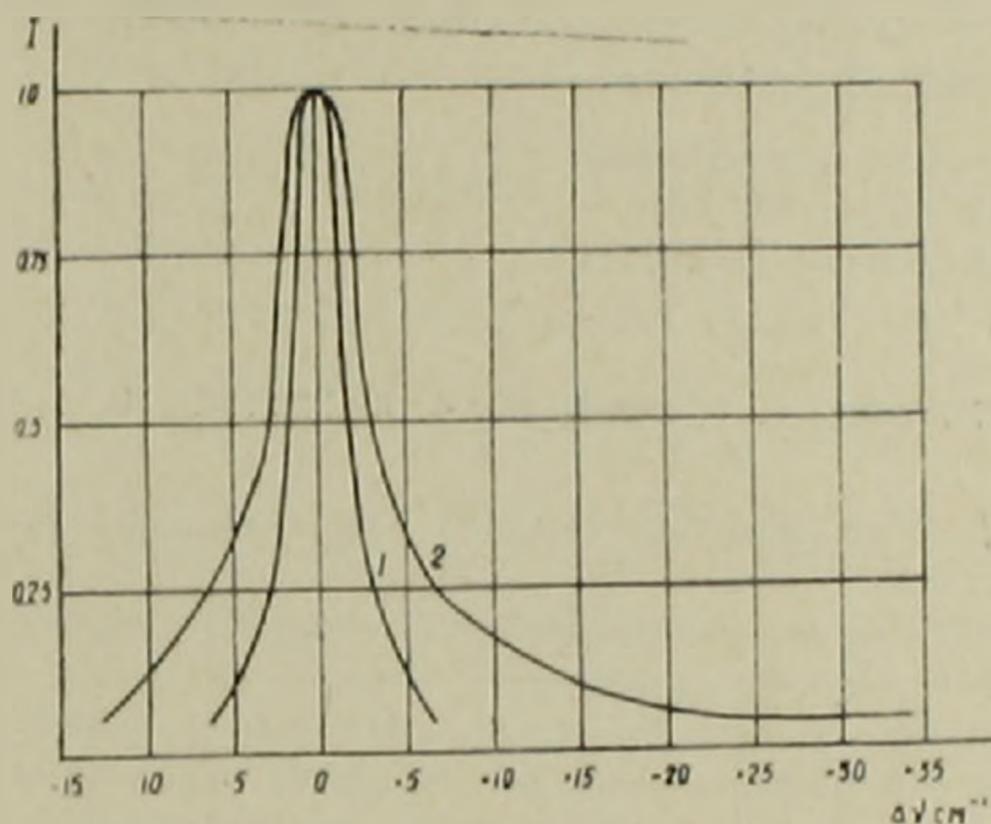


Рис. 3. Распределение интенсивности (относительные единицы) во II стоксовой компоненте ВКР хлороформа при давлении паров калия 0,8 мм ртутного столба.

1 — падающее излучение; 2 — излучение, прошедшее через пары калия

На рис. 3 показан наблюдаемый контур линии излучения хлороформа, прошедшего через пары калия при давлении 0,8 мм ртутного столба. Для сравнения дан контур этой же линии до входа в кювету. Наблюдаемая ширина линии излучения хлороформа на частоте  $13066 \text{ см}^{-1}$  на полувысоте интенсивности составляет  $3,6 \text{ см}^{-1}$  (спектральная ширина щели  $2,5 \text{ см}^{-1}$ ). После прохождения через пары калия ширина  $6,9 \text{ см}^{-1}$ , но особенно сильно возрастает крыло линии (до  $30 \text{ см}^{-1}$  со стороны коротких длин волн). С длинноволновой стороны соответствующее крыло отсутствует из-за резонансного поглощения калия.

Ввиду отсутствия возможности плавного изменения величины расстройки частоты падающего излучения от частоты резонансного перехода в калии, кроме ВКР хлороформа использовались в каче-

стве источника возбуждения также ВКР нитробензола и ортоксиллола. Сравнение результатов этих исследований в идентичных условиях эксперимента показывает, что в случае нитробензола имеется значительное уширение, а для ортоксиллола оно практически отсутствует.

В заключение приведем некоторые оценки. Спектральная ширина интенсивности возбуждающего излучения в нашем эксперименте (ВКР органической жидкости) составляла  $\Gamma \sim 10^8 \text{ сек}^{-1}$ , а величина  $\lambda \sim 10^4$ . Такое значение  $\lambda$  получается для длины кювета с калием  $\sim 10 \text{ см}$  и интенсивности  $J \sim 10^{23} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ . Величина дополнительного уширения  $\delta\Gamma \sim 10^{11} \text{ сек}^{-1}$ . Наблюдаемая спектральная ширина возбуждающего излучения того же порядка. Наблюденный на эксперименте качественный ход зависимости уширения от интенсивности и давления согласуется с выводами теории.

Выражаем благодарность чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляну за обсуждения.

Институт физических исследований  
Академии наук Армянской ССР  
Ереванский государственный университет

Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ն. Ն. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Վ. Ա. ԻՐԱԿՅԱՆ, Մ. Ե. ՄՈՎՍԵԱՅԱՆ

Ճառագայթման սպեկտրի լայնացումը ռեզոնանսային միջավայրում

Տեսականորեն և փորձով ուսումնասիրված է սպեկտրալ դժի լայնացումը ռեզոնանսային միջավայրում՝ ատոմական կալիումի գոլորշիներում  $0,05-1,5$  մմ սեղիկի սյան ճնշման տակ ( $10^{16}$  սմ $^{-3}$  խտությունների դեպքում)։ Միջավայրի ոչ գծայնությունը ապահովվում է շնորհիվ արևի, որ բնկնող դժի հաճախությունը մոտ է ատոմական դժի հաճախությանը։

Դիտվող լայնացումը մեծանում է ճառագայթման ինտենսիվության, ինչպես նաև կալիումի գոլորշիների ճնշման և սրվակի երկարության մեծացմանը գույրնեթաց։

#### ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> Л. А. Островский, ЖЭТФ, Письма, 6, 807 (1967). <sup>2</sup> N. Bloembergen P. Lallemant, Phys. Rev.Lett 16, 81 (1966). <sup>3</sup> D. M. Rank, A. C. Cheung, R. Y. Chiao, C. H. Townes, 1968 International Quantum Electronics Conference, Miami, 1968. <sup>4</sup> Д. И. Маш, В. В. Морозов, В. С. Старунов, И. Л. Фабелинский, ЖЭТФ, 55, 205 (1968). <sup>5</sup> А. Л. Микаэлян, М. Л. Тер-Микаелян, Ю. Г. Турков, Оптические генераторы на твердом теле, Изд. Советское радио, М., 1967.