

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ГЕНЕРАЦИЮ СТОКСОВЫХ КОМПОНЕНТ ВКР ПРИ БИГАРМОНИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ

Г.В.Венкин, Г.М.Крочик,

Л.Л.Кулюк, Д.И.Малеев, Ю.Г.Хронополо.

Экспериментально и теоретически исследована смешанная комбинационно-параметрическая генерация стоксовых компонент при бигармонической накачке. Показано, что в присутствии сильной компоненты накачки мощность слабой компоненты, необходимая для наблюдения ВКР, может быть снижена в 10^4 раз. Наблюдаемый эффект объясняется на основе явления захвата фаз при четырехволновом взаимодействии.

1. В последнее время активно исследуются четырехволновые резонансные процессы, характерной особенностью которых является взаимодействие параметрических (т. е. зависящих от фазовых соотношений) и комбинационных (двухфотонных) процессов [1]. Во всех исследованных случаях генерируемая волна рождается за счет параметрического взаимодействия, а двухфотонные процессы приводят к поглощению этой волны; при этом накачка индуцирует переход вещества из основного состояния в возбужденное, а параметрический процесс возвращает вещество в исходное состояние. Возможен, однако, процесс, в котором генерируемая волна нарастает как за счет комбинационного, так и параметрического взаимодействия полей. Таковым является вынужденное излучение на стоксовых частотах при бигармоническом возбуждении; при этом вещество переходит в возбужденное состояние. В настоящем сообщении приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования этого явления.

2. Взаимодействие бигармонической накачки $\sum_{j=1,2} e_j A_j(z) \exp \times \{i [\omega_j t - K_j z - \phi_j(z)]\} + \text{к.с.}$ с комбинационно-активным переходом (с частотой ω_{21}) можно исследовать методом, изложенным в [2]. Результаты теоретического рассмотрения изложены ниже.

Пусть интенсивность одной из компонент накачки, например $I_2 \sim A_2^2$, достаточна для возбуждения ВКР, т. е. возникает стоксова компонента с частотой ω_{2c} и амплитудой $A_{2c}(z)$. Это приводит к параметрическому взаимодействию волн на частотах ω_1 , ω_2 , и ω_{2c} , в результате которого генерируется волна с частотой ω_{1c} ($\omega_1 - \omega_{1c} = \omega_2 - \omega_{2c} = \omega_{21}$); ее амплитуда A_{1c} растет $\sim A_1 A_2 A_{2c}$; рост A_{1c} стимулирует и вынужденный комбинационный процесс ($\sim A_1^2 A_{1c}^2$). В результате в некоторой области пространства взаимодействия происходит смешанная комбинационно-параметрическая генерация поля A_{1c} ; во всей этой области имеет место захват фаз взаимодействующих волн [2, 3].

Допустим, что $I_{10} = I_1|_{z=0}$ много меньше пороговой интенсивности $I_{10}^{\text{пор}}$, достаточной для возбуждения ВКР в отсутствие дополнительной накачки на частоте ω_2 , а регистрируемая величина стоксовой компоненты $I_{1c} \approx 0,1 I_{10}$. Тогда можно показать, что необходимым и достаточным условием получения такого коэффициента преобразования на длине захвата фаз L является выполнение соотношения

$$10 A_{2c}^2|_{z=L} \geq A_{20}^2 > \delta c^2 k_{2c} \hbar^3 / 2 \pi \omega_{2c}^2 N T r_1 r_2, \quad (1)$$

где волновая расстройка $\delta = (k_1 - k_{1c}) - (k_2 - k_{2c})$, N — плотность числа частиц, T — обратная ширина линии рабочего перехода, $r_j = r_j(\omega_j - \omega_{jc})$ — поляризуемости второго порядка, определяющие сечение ВКР на частотах ω_1 и ω_2 , $A_{20} = A_2|_{z=0}$.

При выполнении (1) рассматриваемый процесс не критичен к выполнению условий линейного синхронизма ($\delta = 0$) и длина L может быть много больше δ^{-1} . Поэтому смешанная комбинационно-параметрическая генерация может наблюдаться в коллинеарных пучках, распространяющихся в изотропной среде, где $\delta \neq 0$.

Захват фаз здесь, как и в других четырехволновых процессах, ограничен в пространстве [2, 3]. Исследование показывает, что после срыва захвата фаз при условии $A_{10} \ll A_{20}$ параметрическое взаимодействие мало влияет на дальнейшее изменение стоксовой компоненты A_{1c} , оно происходит исключительно за счет комбинационного взаимодействия и может быть достигнуто почти полное преобразование накачки A_1 в компоненту на частоте ω_{1c} .

Таким образом, коэффициент преобразования в рассматриваемом процессе, в отличие от других видов четырехволновых взаимодействий [2, 3] совершенно не критичен к выбору толщины вещества: она может быть много больше L .

Следует отметить, что все изложенные результаты справедливы и в том случае, когда вместо ВКР накачки A_2 происходит ее двухфотонное поглощение между рабочими уровнями.

3. Экспериментально исследовалось возбуждение стоксовых компонент при действии бигармонической накачки на сжатый водород. Схема установки изображена на рис. 1. В качестве сильной компоненты накачки с частотой ω_2 использовалась вторая гармоника стабилизированного по частоте одномодового неодимового лазера ($\lambda_2 = 530 \text{ нм}$); источником накачки с частотой ω_1 , стоксова компонента рассеяния которой исследовалась, являлась стоксова компонента ВКР ($\lambda_1 = 630 \text{ нм}$) от излучения с $\lambda_2 = 530 \text{ нм}$, полученная в камере K_1 на дейтерии.

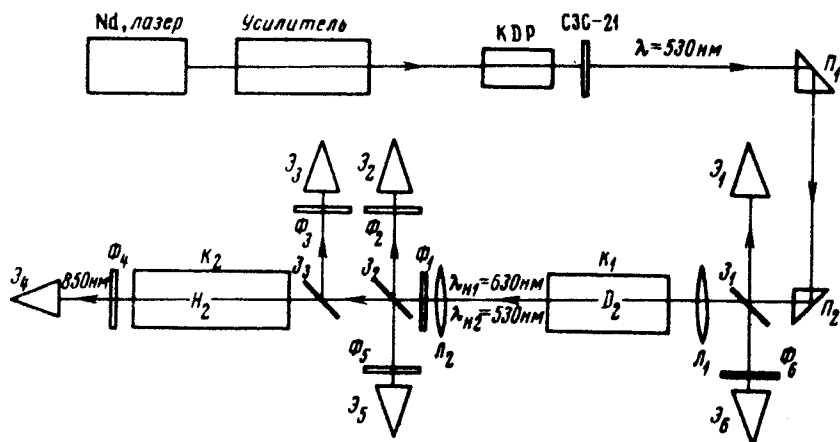


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: K_1, K_2 — камеры со сжатым D_2 и H_2 , $Z_1 = Z_3$ — зеркала, P_1, P_2 — призмы, L_1, L_2 — линзы, $Z_1 = Z_6$ — калориметры, $\Phi_1 - \Phi_2$ — светофильтры

Излучение с λ_1 и необработанная часть второй гармоники с $\lambda_2 = 530 \text{ нм}$ фокусировались линзой L_2 в камеру K_2 со сжатым H_2 . Для проверки теоретического вывода о нескритичности процесса к выполнению условий синхронизма длина фокальной области в K_2 была порядка 5 см , что много больше длины линейного синхронизма $\delta^{-1} = 0,18 \text{ см}$ (давление H_2 в K_2 было 60 атм). Соотношение интенсивностей накачек на входе $I_{10}(\lambda_1) / I_{20}(\lambda_2)$ менялось набором фильтров Φ_1 и регистрировалось калориметрами Z_2 и Z_3 . Наличие стоксовой компоненты $I_{1C}(\lambda_{1C} = 850 \text{ нм})$ в K_2 регистрировалось калориметром Z_4 с пороговой чувствительностью $(I^{\text{рег}})_{\text{min}} = 0,1 \text{ вт}$.

Разброс энергии импульсов исходного генератора (приводящий также к разбросу $I_{10}(\lambda_1 = 630 \text{ нм})$) был таков, что при средней величине $I_{20} = I_{20}^{\text{пор}}$ реагируемый сигнал на $\lambda_{1C} = 850 \text{ нм}$ колебался от $(I^{\text{рег}})_{\text{min}} = 0,1 \text{ вт}$ до 5 вт . На рис. 2 изображены теоретические кривые 1 и 2 зависимости $I_{10}(I_{1C}) / I_{10}^{\text{пор}} = f(I_{20} / I_{20}^{\text{пор}})$ и соответствующие экспериментальные точки для случаев регистрации сигнала с $\lambda_{1C} = 850 \text{ нм}$ соответственно на уровне $0,1$ и 5 вт . Видно, что практически все экспериментальные точки укладываются в область между этими кривыми.

С увеличением I_{20} достигалось практически полное преобразование волны с λ_1 в стоксову компоненту с $\lambda_{1c} = 850 \text{ нм}$ при мощностях $I_{10} \approx 0,1 \text{ кВт} \ll I_{10}^{\text{пор}} \approx 12 \text{ кВт}$, $I_{20} \approx 150 \text{ кВт}$.

В эксперименте с встречными пучками I_1 и I_2 при $< 10 I_{10}^{\text{пор}}$ стоксова компонента A_{1c} не наблюдалась даже при $I_{20}/I_{20}^{\text{пор}} = 30$. Это доказывает, что эффект обусловлен параметрическим взаимодействием волн. На основании изложенного в этом разделе можно утверждать, что "понижение порога" ВКР в [4] также объясняется комбинационно-параметрической генерацией.

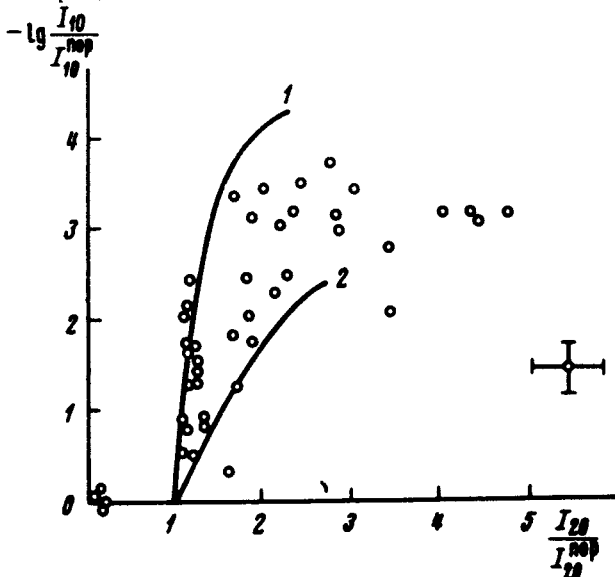


Рис.2. Уменьшение пороговой интенсивности I_{10} в зависимости от I_{20} : кривые 1 и 2 рассчитаны для значений $(I_{1c}^{\text{рег}})_{\text{min}}$ равных $0,1 \text{ Вт}$ и 5 Вт соответственно. Порог ВКР $I_{20}^{\text{пор}} = 50 \text{ кВт}$

Изложенные результаты показывают, что комбинационно-параметрическая генерация может обеспечить получение стоксовых компонент от слабых источников (с плотностью мощности порядка сотен $\text{Вт}/\text{см}^2$), например, от лазеров на красителях. Таким способом можно получать новые перестраиваемые по частоте источники в ИК области. В силу существенно меньшей критичности к выполнению условий волнового синхронизма (см. [1]), чем в используемых для подобных целей других четырехволновых процессах, можно ожидать у таких устройств более широкого диапазона частотной перестройки в схемах с неизменной геометрией лучей. В качестве примера системы, пригодной для обсуждаемых целей, приведем пары К1, в которых возможно получение стоксовой компоненты с $\lambda_{1c} = 9000 \text{ нм}$ от источника с $\lambda_1 = 455 \text{ нм}$ при двухфотонном резонансе дополнительной накачки с $\lambda_2 = 951 \text{ нм}$; в качестве последней может служить излучение лазера на красителе или параметрический генератор света.

Подробная статья о смешанной комбинационно-параметрической генерации при бигармонической накачке будет нами опубликована.

Авторы благодарны Р.В.Хохлову за постоянное внимание к работе и стимулирующие обсуждения, Д.Н.Клышко за полезную дискуссию и В.С.Бутылкину за обсуждения при постановке задачи.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
14 января 1975 г.

Литература

- [1] D.M.Bloom, J.T.Yardley, I.F.Young, S.E.Harris. Appl. Phys. Lett., 24, 427, 1974.
 - [2] В.С.Бутылкин, Г.М.Крочик, Ю.Г.Хронопуло. ЖЭТФ, 68, вып. 2, 1975.
 - [3] В.С.Бутылкин, Г.В.Венкин, В.П.Протасов, Н.Д.Смирнов, Ю.Г.Хронопуло, М.Ф.Шаляев. Письма в ЖЭТФ, 17, 400, 1973.
 - [4] I.A.Duardo, F.M.Johnson, L I .Nygent, IEEE. J Quant. Electr., 4, 397, 1968.
-