

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ СТОКСОВЫХ ВОЛН ПРИ ВКР С ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Ф.А.Королев, О.М.Возник, В.И.Одинцов

При усилении исходной стоксовой волны в поле двух пересекающихся одномодовых пучков наблюдалось явление параметрического возбуждения одной или двух новых волн ВКР, не совпадающих по направлению с исходной волной. В расходящемся многомодовом пучке накачки наблюдался эффект искривления усиливаемого стоксова луча.

Для исследования усиления в поле двух волн накачки часть излучения одномодового рубинового лазера (длительность импульса 25 нсек, ширина линии 10^{-2} см^{-1}) разделялась на два пучка $L1$ и $L2$ равной интенсивности, которые пересекались под небольшим углом внутри кюветы-усилителя с жидким азотом. Другая часть излучения лазера направлялась в кювету-генератор, также заполненную жидким азотом, где происходило возбуждение основной моды первой стоксовой компоненты ВКР ($\lambda = 828 \text{ нм}$). Пучок ВКР $S1$ направлялся в кювету-усилитель так, чтобы оси всех трех пучков $L1$, $L2$ и $S1$ лежали в одной плоскости и пересекались в одной и той же точке кюветы. Горловины пучков рас-

полагались вблизи места их пересечения. Диаметры пучков накачки $L1$ и $L2$, измеренные на уровне половины интенсивности, составляли в месте пересечения $0,4$ мм, а диаметр стокового пучка $S1$ был $0,5$ мм. Излучение, вышедшее из кюветы усилителя, регистрировалось на фотопластинке, устанавливавшейся достаточно далеко от кюветы.

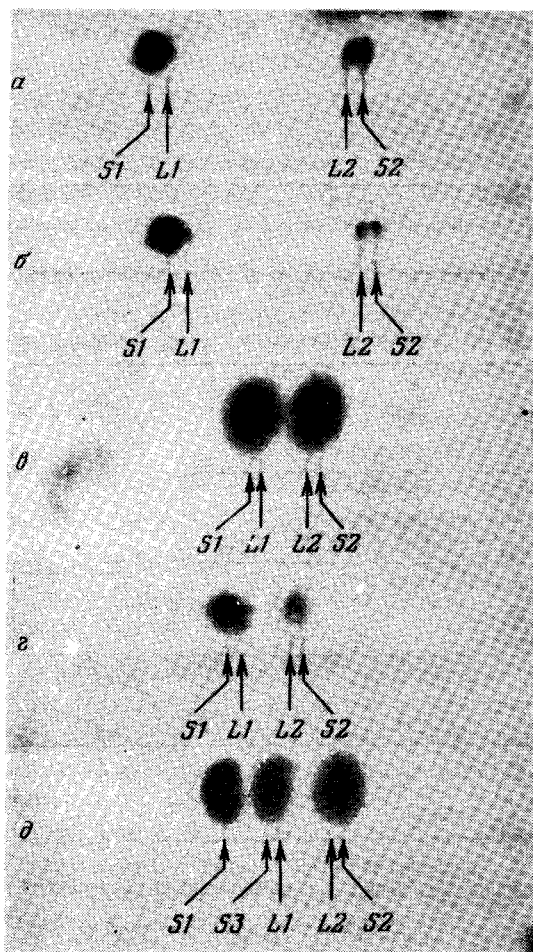


Рис. 1. Параметрическое возбуждение стоковых волн $S2$ и $S3$ $2\alpha = 2 \cdot 10^{-2}$ рад ($a, б$), $2\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3}$ рад ($в - д$)

Возникновение параметрически возбуждаемой стоковой волны $S2$ показано на рис. 1 для двух значений угла между пучками накачки $L1$ и $L2$: $2\alpha = 2 \cdot 10^{-2}$ рад ($a, б$) и $2\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3}$ рад ($в, г$). Показаны только "пятна" стоковых пучков $S1$ и $S2$, (возбуждающее излучение поглощалось цветным светофильтром). Положение компонент накачки $L1$ и $L2$, указанное стрелками, определялось по другим снимкам, на которых с помощью цветных светофильтров фиксировались пары не накладываю-

шихся друг на друга "пятен" $S1, L2$ и $S2, L1$, а также $L1, L2$. При перекрытии одного из пучков $L1, L2, S1$ компонента $S2$ не возникала даже при значительном увеличении интенсивности накачки. При $\alpha = 10^{-2}$ рад в центре "пятна" $S2$ довольно часто наблюдался провал в виде полосы, перпендикулярной плоскости расположения пучков (рис. 1, а, б). Его глубина достигала 10 – 20% от интенсивности в максимуме.

Наблюдаемое положение компоненты $S2$ хорошо согласуется с предсказанным теоретически [1]. Из условия равенства проекций волновых векторов фоновых волн $q_{1x} = q_{2x}$ следует с учетом малости углов (см. рис. 2 а, где угол $\beta_2 < 0$):

$$\beta_2 = \beta_1 - 2 \frac{k_L}{k_S} \alpha. \quad (1)$$

Эксперимент хорошо подтверждает это соотношение. Так, симметричное положение угловых компонент $S1, S2$ относительно $L1, L2$ в соответствии с (1) наблюдается при $\beta_1 = \beta_{\text{симм}} = \frac{k_L}{k_S} \alpha$ (рис. 1, а, в). Смещение компоненты $S1$ из "симметричного" положения приводит к такому же по величине смещению $S2$ (рис. 1, б, в).

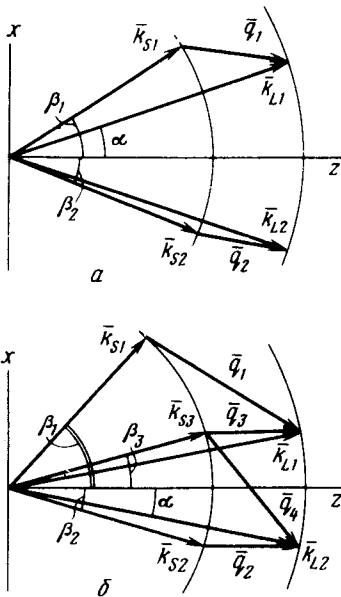


Рис. 2. Схема волновых векторов: а – возбуждение волн $S2$, б – возбуждение волн $S2, S3$

При симметричном расположении компонент $S1, S2$ было измерено отношение энергии компоненты $S2$ W_{S2} к энергии компоненты $S1$ W_{S1} на выходе усилителя в зависимости от интенсивности накачки (рис. 3).

Для проведения приближенной теоретической оценки заменим реальные гауссовы пучки $L1, L2, S1$ пучками с сечением в виде квадрата, ориентированного вдоль осей x, y , сторона которого a равна диаметру гауссова пучка. Интенсивность примем постоянной по сечению и равной осевой интенсивности соответствующего гауссова пучка. Тогда длина взаимодействия, на которой происходит перекрытие пучков $L1, L2, S1, S2$ составляет $l' = a/2\alpha$. При $\alpha = 0,4$ мм для угла $2\alpha = 2 \cdot 10^{-2}$ рад $l' = 2$ см. При $2\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3}$ рад l' ограничивалась длиной

кюветы, составлявшей 6,8 см. На рис. 3 вместе с экспериментальными точками приведена теоретическая зависимость W_{S2}/W_{S1} от $G' = bI_L l'$ (b — удельный коэффициент усиления в поле однородной плоской волны накачки, I_L — суммарная осевая интенсивность пучков $L1$ и $L2$), рассчитанная по результатам [1].

Эксперимент показал, что при отходе от симметричного положения отношение W_{S2}/W_{S1} быстро падает, если $|\Delta_{21}| > \frac{1}{2}g'$, где $g' = G'/l'$, а расстройка $\Delta_{21} = g_{2z} - g_{1z}$ рассчитывается по формуле

$$\Delta_{21} = -2k_L a (\beta_1 - \beta_{\text{СИММ}}). \quad (2)$$

При больших отклонениях β_1 от $\beta_{\text{СИММ}}$ экспериментальные значения W_{S2}/W_{S1} , в общем, неплохо согласуются с теоретической оценкой $W_{S2}/W_{S1} = (g'/2\Delta_{21})^2$, справедливой при $W_{S2} \ll W_{S1}$.

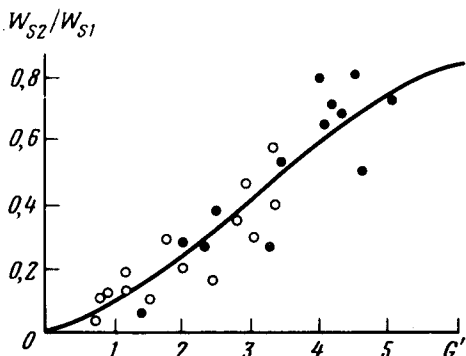


Рис. 3. Рост относительной энергии компонент $S2$ и $S1$ при увеличении интенсивности накачки: $\circ\circ\circ$ и $\bullet\bullet\bullet$ экспериментальные точки при $2\alpha = 2 \cdot 10^{-2}$ рад и $2\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3}$ рад, кривая — теоретическая зависимость

Качественно иная картина рассеяния наблюдалась в случае $2\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3}$ рад при $\beta_1 \sim 3\beta_{\text{СИММ}}$. Здесь при достаточно больших интенсивностях накачки возникали сразу две новые угловые компоненты стоксова излучения $S2$ и $S3$ (рис. 1, д), располагавшиеся вблизи симметричного положения $\beta_3 \approx \beta_{\text{СИММ}}$, $\beta_2 \approx -\beta_{\text{СИММ}}$ (рис. 2, б). Их энергии были близки и достигали $\sim 0,1W_{S1}$. Следует предположить, что первоначально происходит параметрическое возбуждение $S3$ компонентой накачки $L2$ на фоновой волне q_1 , создаваемой компонентами $L1$ и $S1$ (при $\beta_1 = 3\beta_{\text{СИММ}}$ и $\beta_3 = \beta_{\text{СИММ}}$, $q_{4x} = q_{1x}$). Далее $S2$ параметрически возбуждается компонентой $L2$ на фоновой волне q_3 , создаваемой компонентами $L1$ и $S3$. При $\beta_1 \sim 3\beta_{\text{СИММ}}$ расстройка $q_{4z} - q_{1z}$ в соответствии с (2) велика даже при малом угле $2\alpha = 5,5 \cdot 10^{-3}$ рад. Поэтому "затравочная" волна в направлении $S3$ слаба. Однако ввиду $q_{2z} - q_{3z} \sim 0$ между компонентами $S2$ и $S3$ имеет место параметрическая связь, приводящая, согласно [1] к увеличению коэффициента усиления в 1,5 раза.

Было замечено, что даже значительное отклонение β_1 от $3\beta_{\text{СИММ}}$ не приводит к существенному отклонению компонент $S2$ и $S3$ от симметричного положения. Это становится понятным, если учесть большую роль параметрической связи компонент $S2$ и $S3$ при малой интенсивности затравочной волны и принять во внимание, что условие $q_{1x} = q_{4x}$ не является строгим вследствие ограниченных поперечных размеров

пучков. Ввиду значительно большего коэффициента усиления волн S_2 , S_3 стоксово излучение на выходе усилителя при достаточно больших G будет сосредоточено, в основном, в этих компонентах, в то время как интенсивность волны S_1 будет мала. Аналогичное явление наблюдалось нами при усилении одномодовой стоксовой волны, распространяющейся под некоторым углом к оси расходящегося многомодового пучка накачки. При достаточно больших интенсивностях накачки основная часть усиленного излучения распространялась вдоль пучка накачки. Таким образом, в процессе усиления происходило отклонение стоксова луча от своего первоначального направления.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
31 октября 1977 г.

Литература

[1] Ф.А.Королев, В.И.Одинцов, Письма в ЖЭТФ, 22, 68, 1975.
