

# ЛАЗЕР НА КОМБИНАЦИОННОМ РАССЕЯНИИ В ЖИДКОМ АЗОТЕ

А.З.Граскх, В.Ф.Ефимков, И.Г.Зубарев, В.И.Мишин, В.Г.Смирнов

Важным параметром источника когерентного излучения является его яркость ( $\text{вт/см}^2 \text{стерад}$ ). Перспективным способом увеличения яркости такого источника представляется преобразование его излучения в генерацию на вынужденном комбинационном рассеянии. В настоящей работе впервые сообщается об увеличении яркости в жидкостном (жидкий азот) комбинационном лазере 1).

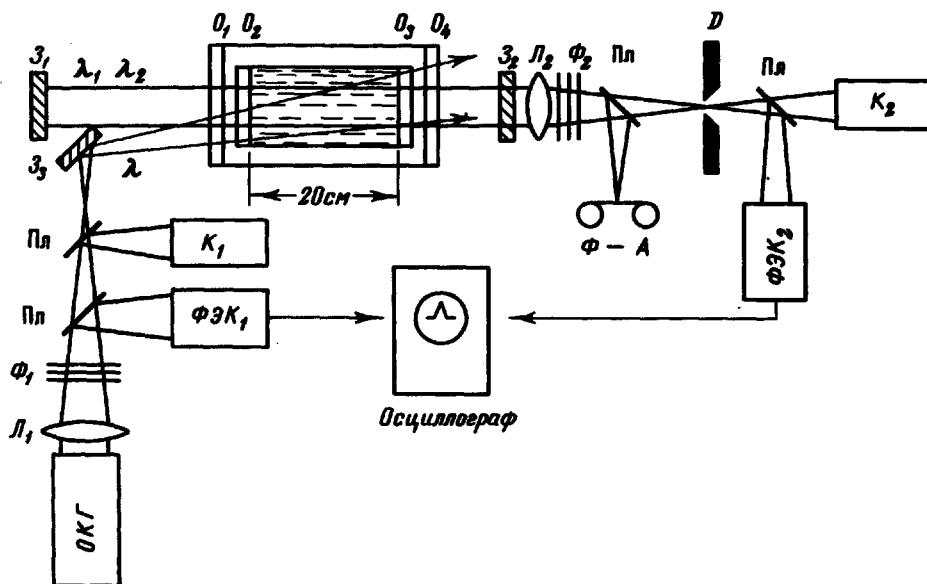


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования лазера на комбинационном рассеянии. ОКГ — рубиновый лазер с модулированной добротностью.  $L_1$  — фокусирующая линза.  $\Phi_1$  — фильтр, регулирующий энергию накачки. Пл — отводящие пластины.  $Z_3$  — поворотное зеркало.  $Z_1$  и  $Z_2$  — зеркала резонатора комбинационного лазера. ( $Z_1$  — с коэффициентом отражения 97% на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ;  $Z_2$  — стеклянная пластина).  $O_1 + O_4$  — окна кюветы с жидким азотом.  $L_2$  — линза с фокусным расстоянием  $F = 2 \text{ м}$ .  $\Phi_2$  — избирательный фильтр, выделяющий  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .  $K_1$  и  $K_2$  — калориметры. Д — диафрагма для измерения углового распределения энергии генерации.  $\lambda$ ,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  — длины волн излучения накачки, первой и второй стоксовых компонент соответственно ( $\lambda = 0,6943 \text{ мк}$ ,  $\lambda_1 = 0,828 \text{ мк}$ ,  $\lambda_2 = 1,026 \text{ мк}$ )

1) В дальнейшем для краткости будем пользоваться термином "комбинационный лазер" вместо "лазер на вынужденном комбинационном рассеянии".

В [1,2] было обнаружено, что ВКР в жидком азоте позволяет эффективно преобразовывать в стоксовы компоненты излучение рубинового лазера. При этом не наблюдалось заметного эффекта вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ) и самофокусировки, что объясняется более высокими их пороговыми интенсивностями накачки по сравнению с ВКР. В органических жидкостях эти пороги одного порядка с ВКР. Поэтому ВКР в них, как правило, сопровождается ВРМБ и самофокусировкой. Это, по-видимому, объясняет тот факт, что в комбинационных лазерах на этих жидкостях [3,4] не удавалось добиться увеличения яркости. Этот эффект наблюдался лишь в газообразном водороде [5], в котором порог по ВКР значительно ниже порога для ВРМБ и самофокусировки.

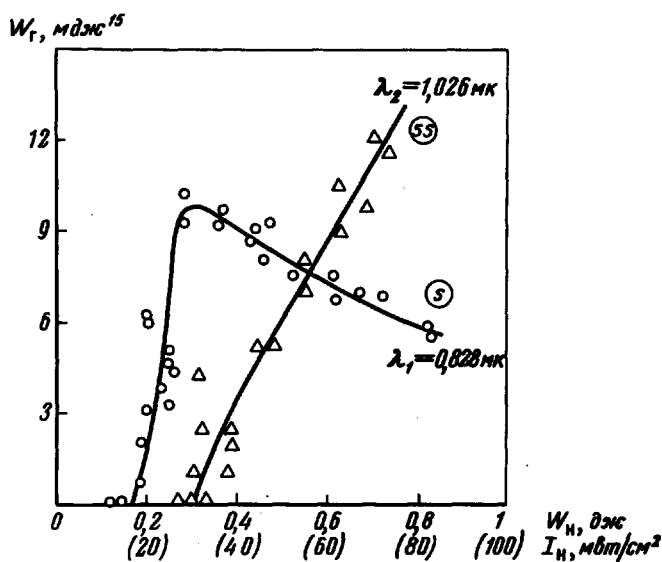


Рис. 2. Зависимость энергии генерации  $W_g$  комбинационного лазера на первой ( $\lambda_1 = 0,828 \mu\text{m}$ ) и второй ( $\lambda_2 = 1,026 \mu\text{m}$ ) стоксовых компонентах от энергии  $W_N$  (и интенсивности  $I_N$ ) накачки

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Источником накачки служит рубиновый лазер с модуляцией добротности вращающейся призмой. Использовалась неаксиальная схема накачки, то есть световой пучок накачки распространяется под некоторым углом к оси резонатора комбинационного лазера. Такая схема позволяет пространственно разделить световые пучки накачки и генерации. Временные характеристики накачки и генерации изучались

с помощью коаксиальных фотоэлементов ФЭК-09 на скоростном осциллографе. Пространственное распределение генерации фиксировалось фотоаппаратом (ФА), угловое распределение измерялось с помощью сменных диафрагм  $D$ , расположенных в фокальной плоскости линзы  $L_2$  с фокусным расстоянием 2 м. Энергия излучения измерялась калориметрами  $K_1$  и  $K_2$ . Для выделения стоксовых компонент  $\lambda_1 = 0,828 \text{ мк}$  и  $\lambda_2 = 1,026 \text{ мк}$  служит избирательный фильтр  $\Phi_2$ .

На рис.2 представлена типичная для режима генерации величины энергии первой ( $\lambda_1 = 0,828 \text{ мк}$ ) и второй ( $\lambda_2 = 1,026 \text{ мк}$ ) стоксовых компонент в зависимости от энергии и интенсивности накачки. Интересно отметить, что рост первой стоксовой компоненты ( $\lambda_1$ ) прекращается с возникновением генерации на второй ( $\lambda_2$ ), а затем первая компонента начинает убывать. Это явление связано с кинетикой взаимодействия этих компонент в комбинационном лазере.

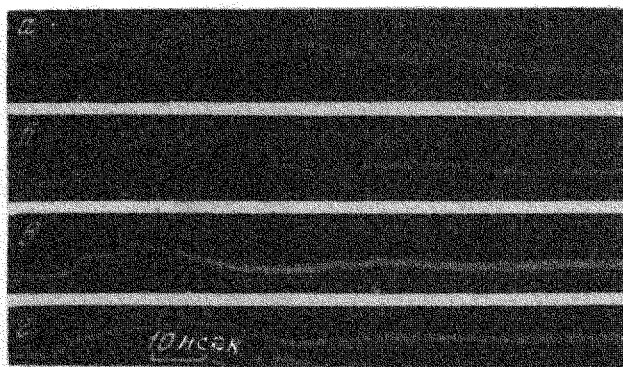


Рис. 3. Осциллограмма накачки и преобразованного излучения: а – накачка; б – генерация на первой стоксовой компоненте  $\lambda_1 = 0,828 \text{ мк}$ ; в – генерация на второй стоксовой компоненте ( $\lambda_2 = 1,026 \text{ мк}$ ); г – излучение первой стоксовой компоненты по направлению распространения излучения накачки

На рис.3 приведены осциллограммы накачки и генерации на первой и второй стоксовых компонентах. Характерной особенностью комбинационного лазера является осциллирующий характер его излучения. Период этих осцилляций порядка  $2L/c$ , где  $L$  – длина резонатора,  $c$  – скорость света.

Расходимость  $\theta_r$  генерации составляла  $\theta_r = 5 + 6 \cdot 10^{-4}$  рад, что примерно в 3 раза больше дифракционного предела и в 10 раз меньше расходимости несфокусированного пучка накачки ( $5 + 6 \cdot 10^{-3}$  рад).

Коэффициент преобразования (по энергии) в стоксовы компоненты в режиме генерации составлял  $3 + 5\%$ . Такое сравнительно невысокое значение коэффициента преобразования можно объяснить слишком коротким импульсом накачки, длительность которого (по полувысоте) соответствует лишь нескольким проходам света в резонаторе. Этого, по-видимому, недостаточно для установления стационарного режима и формирования узкой диаграммы направленности генерации. Коэффициент преобразования в стоксовы компоненты в телесный угол, в котором сосредоточена накачка (и в направлении ее распространения) достигал  $50\%$ . Сравнительные параметры накачки и комбинационного лазера для одного из опытов приведены в таблице, из которой видно, что яркость комбинационного лазера значительно выше яркости источника накачки.

№	Источник	Энергия в импульсе $W$ , Дж	Площадь поперечного сечения пучка $S$ , см <sup>2</sup>	Длительность импульса $\tau$ (по основанию), нсек	Расходимость пучка $\theta$ , рад	Отношение яркостей комбинационного лазера $(B_r)$ и накачки $(B_k)$ $\frac{B_r}{B_k} = \frac{W_r \tau_n S_n (\theta_n)^2}{W_n \tau_r S_r (\theta_r)^2}$
1	Накачка: рубиновый лазер $\lambda = 0,6943$ мк	0,3	1,1	75	$5 \cdot 10^{-3}$	60
2	Комбинационный лазер $\lambda_1 = 0,828$ мк $\lambda_2 = 1,026$ мк	$10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	35	$6 \cdot 10^{-4}$	

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Н.Г.Басову за постоянную творческую помощь и внимание к работе. Авторы также признательны И.И.Собельману, В.А.Алексееву и Е.Н.Юкову за полезные дискуссии.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
18 августа 1968 г.

## Литература

- [1] Н.Г.Басов, А.З.Грасюк, В.А.Катулин. ДАН СССР, 161, 1306, 1965.
- [2] Н.Г.Басов, А.З.Грасюк, В.Ф.Ефимков, В.А.Катулин. ФТТ, 9, 88, 1967.
- [3] H. Takuma, D. A. Jennigs. Appl. Phys. Lett., 4, № 11, 1964.
- [4] H. Takuma, D. A. Jennigs. Proc. IEEE, 53, 146, 1965.
- [5] P. V. Avizonis, A. H. Guenter, T. A. Wiggins, P. V. Wich, D. H. Rank. Appl. Phys. 309, 1966.