

ОДНОЧАСТОТНЫЙ БРИЛЛЮЗНОВСКИЙ ЛАЗЕР НА МЕТАНЕ

В. И. Ковалев, В. И. Поповичев, В. В. Ратульский,
Ф. С. Файзуллоев

Во всех известных к настоящему времени бриллюэновских лазерах (см. [1]) в качестве активной среды используются различные жидкости. Однако в ряде случаев предпочтительнее использовать сжатые газы из-за более высокого порога по самофокусировке и лучшего оптического качества [2]. С другой стороны, изучение работы таких лазеров обычно сильно затрудняется процессами последовательного рассеяния в резонаторе, которые приводят к появлению нескольких линий в спектре излучения. В данной статье впервые сообщается об одночастотном бриллюэновском лазере на газе.

Активной средой этого лазера служит метан, находящийся при комнатной температуре под давлением 130 атм¹⁾. Нами использован кольцевой резонатор с оптическим изолятором на основе ячейки Фарадея [3]. В такой схеме излучение может распространяться только в одном направлении, и, следовательно, генерация за счет последовательного рассеяния на 180° невозможна. Резонатор образован зеркалами M_1 , M_2 и M_3 (рис. 1), его оптическая длина 6,6 м.

Излучение накачки от лазера на рубине с помощью зеркала M_4 делится на два пучка равной интенсивности (угол между ними $\sim 1^\circ$). Эти пучки попадают в полый стеклянный световод, помещенный в кювету с метаном, и, отразившись несколько раз от его стенок, выходят из кюветы. Световод имеет квадратное сечение 6×6 мм и длину 0,94 м, длина кюветы 0,96 м. Углы между стенками световода и пучками накачки составляют около $0,5^\circ$. При таких малых углах коэффициент от-

¹⁾ При этих условиях коэффициент усиления за счет ВРМБ $g \sim 0,09$ см/Мет, а ширина линии усиления ~ 20 МГц [4].

ражения от стекла близок к единице, и поэтому интенсивность накачки по всей длине кюветы в отсутствии генерации практически постоянна. Для предупреждения генерации за счет отражений от световода в резонатор помещены диафрагмы D_1 и D_2 , а окна кюветы скошены на угол 45° .

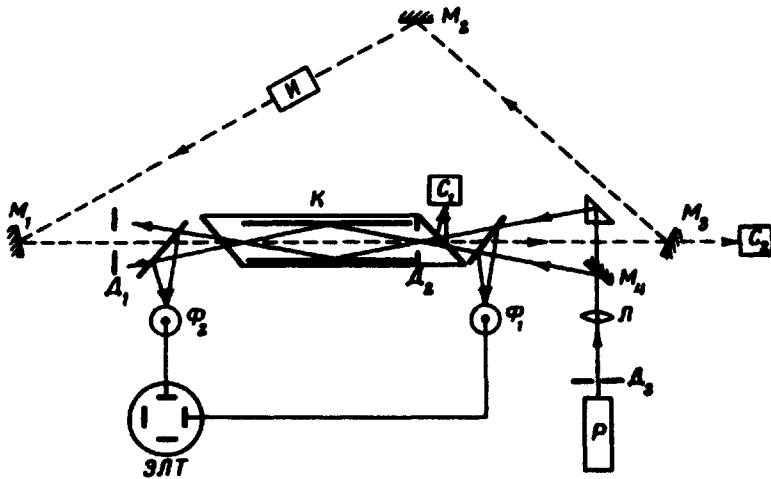


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: K – кювета с метаном; $И$ – сплитический изолятор; M_1, M_2, M_3 , и M_4 – диэлектрические зеркала с пропусканием при $\lambda = 0,6943 \text{ мк}$ 2, 2, 40 и 50% соответственно (M_1 – сферическое с $R = 160 \text{ м}$, M_2, M_3, M_4 – плоские); P – лазер на рубине, диаметр пучка $\sim 3 \text{ мм}$; D_1 и D_2 – диафрагмы $5 \times 5 \text{ мм}$; D_3 – диафрагма $3 \times 3 \text{ мм}$; $Л$ – линза с фокусным расстоянием 37 см ; Φ_1 и Φ_2 – фотоэлементы ФЭК-09; ЗЛТ – электронно-лучевая трубка осциллографа И2-7; C_1 и C_2 – системы измерения параметров излучения накачки и генерации

С помощью линзы $Л$ в плоскости диафрагмы D_2 получается изображение диафрагмы D_3 . Размер изображения равен величине диафрагмы D_2 . Благодаря этому измерительная аппаратура C_1 регистрирует только то излучение, которое попадает в световод.

Рубиновый лазер работает на одной осевой моде, и его излучение на входе в кювету имеет максимальную мощность $\sim 0,6 \text{ Мвт}$ при длительности импульса по полувысоте около 200 нсек . Расходимость каждого пучка составляет $\sim 5 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$. Параметры накачки удовлетворяют условиям увеличения яркости излучения [1].

Фотоэлементы Φ_1 и Φ_2 регистрируют свет накачки соответственно на входе и выходе из кюветы. Сигналы от них одновременно поступают на горизонтальную и вертикальную отклоняющие системы электронно-лучевой трубки. В результате на экране трубки мы видим зависимость мощности излучения, прошедшего через кювету (P_0), от мощности накачки на входе в кювету (P_L). При работе бриллюэновского лазера в квазистационарном режиме должно быть справедливо равенство $P_0 = P_L - P_B$, где P_B – мощность генерируемого излучения.

При отсутствии резонатора никаких нелинейных процессов в метане не развивается, что приводит к линейной зависимости P_0 от P_L (рис. 2, а). Осциллограмма, полученная при наличии резонатора, приведена на рис. 2, б; направление движения электронного луча указано стрелкой. Двухзначность кривой объясняется тем, что в начале импульса накачки (до А) наблюдается переходной режим генерации, а в конце импульса (после А) – режим, приближающийся к стационарному.

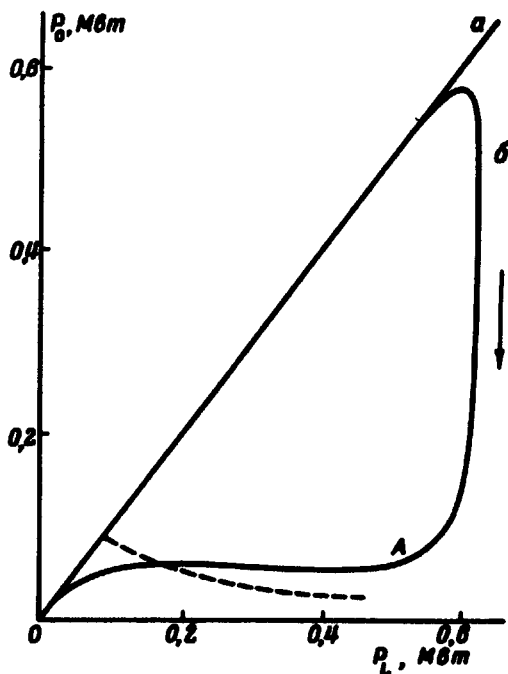


Рис. 2. Экспериментальные осциллограммы: а – при отсутствии резонатора, б – с резонатором. Пунктир теоретическая кривая

В стационарном случае взаимодействие излучений накачки и генерации в активной среде нашего лазера приближенно описывается уравнениями [5]:

$$\frac{dl}{dx} = g l(x) J(x); \quad (1)$$

$$\frac{dJ}{dx} = g l(x) J(x), \quad (2)$$

где l и J – интенсивности света накачки и генерации соответственно; излучение генерации распространяется в направлении $+x$ ($0 \leq x \leq L$). В стационарном режиме должно выполняться обычное условие:

$$\frac{J(L)}{J(0)} = K, \quad (3)$$

где $J(L)/J(0)$ – усиление в кювете, а K – ослабление света в резонаторе ($1 < K < \infty$). Совместное решение (1), (2) и (3) можно записать в параметрическом виде:

$$I(L) = \frac{1}{gL} \left(\frac{K-1}{Ky-1} \right) \ln Ky \quad \text{и} \quad I(0) = \gamma I(L), \quad (4)$$

где параметр γ изменяется в пределах $0 < \gamma \leq 1$.

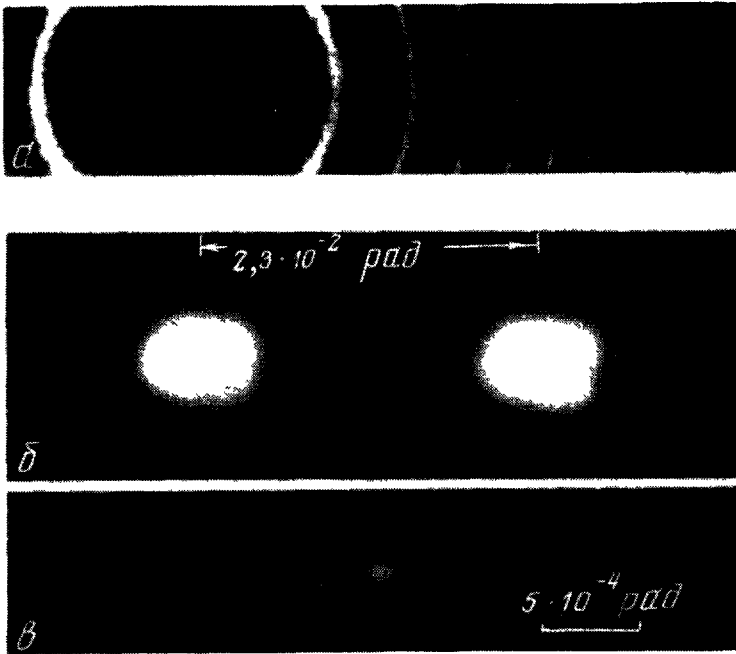


Рис. 3. Характеристики излучения генерации и накачки: а – спектрограмма излучения генерации (область дисперсии эталона Фабри – Перо $3,33 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$); б – распределение излучения накачки в дальней зоне (два пятна соответствуют двум пучкам накачки); в – то же для излучения генерации

В нашем лазере $K \sim 7$. Для этого значения K по формулам (4) построена пунктирная кривая рис. 2, причем от интенсивностей $I(L)$ и $I(0)$ мы перешли к соответствующим мощностям P_L и P_0 . Отличие экспериментальной кривой (после А) от расчетной, по-видимому, связано с тем, что длительность импульса накачки недостаточна для установления квазистационарного режима генерации. Следует также учесть, что уравнения (1) и (2) выведены лишь для случая плоских волн накачки и генерации.

Из рис. 2, б видно, что в излучение бриллюэновского лазера преобразуется заметная доля мощности накачки. Она достигает 88%. В то же время мощность излучения на выходе лазера не превышает $\sim 35\%$ от P_L , что связано с большими потерями в резонаторе. Уменьшая потери (что вполне реально), можно, разумеется, добиться большего КПД.

Лазер работает на одной осевой моде. В спектре генерируемого излучения наблюдается одна линия (рис. 3, а); генерации за счет повторного рассеяния на 180° не обнаружено. На рис. 3, б и 3, в для сравнения показаны фотографии распределения излучения в дальней зоне для накачки и генерации. Расходимость генерируемого пучка практически равна дифракционной $\sim 1,2 \cdot 10^{-4}$ рад. (Измерения проведены так же, как в [1]). Как показывает оценка, яркость излучения на выходе из лазера примерно в 700 раз превышает яркость излучения накачки.

Таким образом показана возможность одночастотной генерации с большим увеличением яркости в бриллиантовом лазере на газе.

Авторы благодарны А.З.Грасюку и Е.А.Юкову за полезные обсуждения.

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

Поступила в редакцию
24 сентября 1971 г.

Литература

- [1] А.З.Грасюк, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллов. Сб. "Квантовая электроника", вып. 1, 70, 1971.
 - [2] A.J.Glass. JEEE J.Quant. Electron., 3, 516, 1967.
 - [3] C.L.Tang, H.Statz, G.A.de Mars, D.T.Wilson. Phys. Rev., 136, 1A, 1964.
 - [4] В.И.Ковалев, В.И.Поповичев, В.В.Рагульский, Ф.С.Файзуллов. Сб. "Квантовая электроника" вып. 1, 7, 1972.
 - [5] M.Maier. Phys. Rev., 166, 113, 1968.
-