

## ГАЗОВЫЙ ЛАЗЕР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ПРЕДИОНИЗАЦИЕЙ РЕАКТОРОМ

*В. М. Андрияшин, Е. П. Велихов, В. В. Васильцов,  
С. С. Красильников, В. Д. Письменный, И. В. Новобранцев,  
А. Т. Рахимов, А. Н. Старостин, В. Е. Хвостинков*

В последнее время в ряде работ сообщалось об осуществлении комбинированной накачки  $\text{CO}_2$ -лазеров [1 – 4]. Преимуществом этого способа накачки является возможность горения однородного газового разряда в большом объеме. Предварительная равномерная ионизация внешним ионизирующим источником создает предпосылки для такого протекания разряда, при котором на начальной его стадии не происходит ни образования токовых нитей, ни контракции. Использование мощных источников ионизации (сильноточных ускорителей [3, 4], импульсных реакторов [5]) позволяет возбуждать генерацию в больших объемах при высоком давлении.

Ядерный реактор уже использовался как источник ионизации газа в значительном объеме ( $\sim 750 \text{ см}^3$ ) при давлении, близком к атмосферному, в экспериментах по непосредственному возбуждению генерации в смеси  $\text{Hg} + \text{He}^3$  [5]. В настоящей работе сообщается об экспериментах по комбинированному возбуждению  $\text{CO}_2$ -лазера, проведенных на том же реакторе (плотность потока тепловых нейтронов в центральном канале  $\Pi \sim 5 \cdot 10^{16} \text{ н. см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ , длительность импульса  $\sim 1 \text{ мсек}$ ).

Лазер был выполнен в виде цилиндрической трубки из оргстекла с внутренним диаметром 37 мм длиной 550 мм, внутри которой параллельно один другому располагались два электрода из дюрала. Их полированные поверхности, обращенные друг к другу имели размеры  $S = 500 \times 20 \text{ мм}^2$ , расстояние  $\ell$  между ними составляло 15 мм. Резонатор был образован сферическими металлическими зеркалами (золотое напыление на латунные подложки;  $R_{\text{глук}} - 15 \text{ м}$ ,  $R_{\text{вых}} - 3 \text{ м}$ ). Выходное зеркало

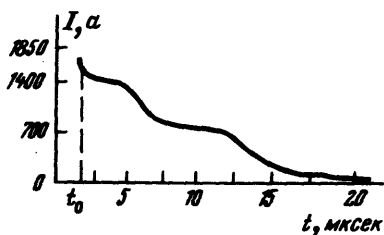
имело центральное отверстие  $\phi 4$  мм, над которым на расстоянии 15 мм располагался помещенный на внутренней стороне торцевого уплотнительного фланца индикатор излучения — термочувствительная бумага.

Лазер помещался в центральном канале реактора и наполнялся смесью  $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{He}^3$  при давлении в несколько атмосфер. Высокая проводимость межэлектродного промежутка во время работы реактора обуславливалась ионизационными потерями заряженных продуктов ядерной реакции  $\text{He}^3(n, p)\text{H}^3 + 0,8$  мэв.

Электрическое питание лазера осуществлялось по низкоиндуктивной цепи от высоковольтного конденсатора через управляемый разрядник. Управление электрическим разрядом необходимо для того, чтобы синхронизовать момент разряда, длительность которого намного меньше длительности нейтронного импульса, с моментом достижения выбранного уровня потока нейтронов.

Сигнал нейтронного датчика и синхронизованные с ним ток и напряжение разряда регистрировались осциллографами С1-51.

Осциллограммы холостых разрядов и разрядов, снятых при работающем реакторе, резко отличаются один от другого. В первом случае осциллограмма тока имеет вид периодических колебаний с периодом, равным периоду колебаний в электрическом контуре с закороченными электродами. Генерация не наблюдалась. Характерная осциллограмма тока разряда при работающем реакторе приведена на рисунке.



Осциллограмма тока разряда при работающем реакторе. В интервал времени от 0 до  $t_0$  скорость записи осциллографа не позволяет зарегистрировать величину максимума тока

Условия работы лазера в этом случае были следующими: суммарное давление всех компонент смеси — 2,5 ат. ( $P_{\text{CO}_2} = 0,8$  ат,  $P_{\text{N}_2} = 0,7$  ат,  $P_{\text{He}^3} = 1$  ат), напряжение  $U = 36$  кВ, емкость конденсатора  $C = 0,7$  мкф, индуктивность и активное сопротивление электрической цепи при закороченных электродах  $L_0 = 1,5$  мкГн,  $R_0 = 0,05$  Ом

Энергия лазерного излучения за импульс, оцененная путем сравнения экспонированного термоприемника с калиброванными образцами, составляла около одного джоуля.

Напряжение на конденсаторе выбиралось из тех соображений, чтобы режим горения разряда был оптимальным для возбуждения генерации ( $E/\rho \sim 10$  в/см · мм рт. ст. [1]). Такой режим установится на разрядном промежутке за время  $\tau_L \approx L/R$ , где  $L$  — индуктивность электрической цепи, а  $R$  — активное сопротивление газоразрядного промежутка, причем  $R \gg R_0$ . С другой стороны газовая среда может быть оптически активной лишь до тех пор, пока не произойдет разогрев газа, характерное время которого  $\tau_T \approx w/\sigma E^2$ , где  $\sigma$  — проводимость газоразрядной плазмы и  $w$  — удельная энтальпия газа. Поэтому необходимо, чтобы выполнялось неравенство  $\tau_L \ll \tau_T$ . Проводимость газо-

разрядной плазмы можно найти из уравнения баланса для электронов, рождающихся в газе при торможении протонов, пробег которых в условиях эксперимента был мал по сравнению с поперечным размером лазерной трубки. Такое вычисление электронной концентрации  $n_e$ , по-видимому, представляется оправданным, так как оценки с использованием известных значений коэффициента Таунсенда [6] показывают, что скорость ионизации электрическим полем не превосходит скорости ионизации, обеспечиваемой реактором.

Тогда из уравнения баланса для электронов  $PQN(\epsilon/l) = \alpha n_e^2$ , следует, что  $n_e \approx 10^{13} \text{ см}^{-3}$ .

Здесь  $Q = 5 \cdot 10^{-21} \text{ см}^2$  — сечение реакции  $\text{He}^3(n, p)\text{H}^3$ ,  $\epsilon = 0,8 \text{ мэв}$  — энергия продуктов реакции,  $l \approx 40 \text{ эв}$  — средняя энергия, идущая на образование ион-электронной пары энергичным протоном,  $N$  — концентрация атомов  $\text{He}^3$ ,  $\alpha \approx 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{сек}^{-1}$  — коэффициент диссоциативной рекомбинации электронов.

Проводимость плазмы при этом  $\sigma \approx 10^9$  ед. CGSE, а полное сопротивление газоразрядного промежутка  $R = \ell/S\sigma = 15 \text{ ом} \gg R_0$ .

Таким образом, видно, что величина  $\tau_T$  порядка нескольких микросекунд, а  $\tau_L \sim 10^{-7} \text{ сек}$ , и в условиях эксперимента требование  $\tau_L \ll \tau_T$  удовлетворено. Можно считать, что генерация осуществлялась в течение времени разогрева  $\tau_T$ , поскольку время разрядки конденсатора  $\tau_C \sim RC \sim 10^{-5} \text{ сек}$  и  $\tau_C \gg \tau_T$ . Приведенные оценки удовлетворительно согласуются с экспериментальной временной зависимостью тока и свидетельствуют в пользу предположения об объемном горении разряда в процессе генерации.

Авторы глубоко благодарны А.А.Веденову, С.А.Голубеву, А.М.Прохорову, Н.Н.Пономареву-Степному, В.М.Талызину за поддержку работы и обсуждения и Б.В.Селезневу, Е.Л.Кондратьеву за помощь в проведении экспериментов.

Институт ядерной физики  
Московского

Поступила в редакцию  
7 апреля 1972 г.

государственного университета

им. М.В.Ломоносова Литература

- [ 1 ] В.М.Андряхин, Е.П.Велихов, С.А.Голубев, С.С.Красильников, А.М.Прохоров, В.Д.Письменный, А.Т.Рахимов. Письма в ЖЭТФ, 8, 346, 1968; В.А.Голубев, В.Д.Письменный, Т.В.Рахимова, А.Т.Рахимов. ЖЭТФ, 62, 458, 1972.
- [ 2 ] T.Ganley, J.T.Verdeyen, G.H.Miley. Appl. Phys. Lett., 18, 568, 1971.
- [ 3 ] Н.Г.Басов, Э.М.Беленов, В.А.Данилычев, О.М.Керимов, И.Б.Ковш, А.Ф.Сучков. Письма в ЖЭТФ, 14, 421, 1971.
- [ 4 ] R.K.Garnsworthy, L.E.S.Mathias, C.H.H.Carmichael. Appl. Phys. Lett., 19, 506, 1971.
- [ 5 ] В.М.Андряхин, В.В.Васильцов, С.С.Красильников, В.Д.Письменный, В.Е.Хвостюнов. Письма в ЖЭТФ, 12, 83, 1970.
- [ 6 ] С.Браун. Элементарные процессы в плазме газового разряда. М., Атомиздат, 1961.