

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА СМЕСИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, АЗОТА И ВОДЫ

*В.К.Конюхов, И.В.Матросов, А.М.Прохоров,
Д.Т.Шалюнов, Н.Н.Широков*

В статье сообщается о том, что в канале сверхзвуковой аэродинамической трубы, через которую продувается нагретая смесь, состоящая из углекислого газа и азота с небольшим количеством влаги, обнаружено усиление инфракрасного излучения, и после установки оптического резонатора в рабочей части трубы получен эффект генерации.

Газодинамические квантовые генераторы (ГКГ) инфракрасного диапазона волн, в которых используются молекулярные газы и в частности смесь $\text{CO}_2 - \text{N}_2$, были предложены в [1, 2], общие идеи такого рода устройств обсуждались в [3, 4], теория ГКГ на смеси $\text{CO}_2 - \text{N}_2$ разрабатывалась в [1, 5 - 7]. Первая попытка обнаружить инверсию населенности электронных уровней ксенона в сверхзвуковой струе была описана в [8]. В [9] экспериментально показана правильность физических предпосылок, лежащих в основе действия ГКГ на смеси $\text{CO}_2 - \text{N}_2$. Добавление гелия в состав смеси для ускорения релаксации молекул с нижнего лазерного уровня привело к возникновению инверсии населенности колебательных уровней молекулы CO_2 и осуществлению импульсной генерации [10, 11]. Смесь газов нужного состава и температуры для ГКГ можно получить, сжигая смесь окиси углерода с воздухом [12], или смешивая газы в сверхзвуковой струе [13].

Исследования коэффициента усиления сверхзвукового потока ($M = 4 + 5$) выполнены на аэродинамической установке, описанной ранее [9] с той разницей, что расширение газа происходило в клиновом сопле с углом раскрытия 13° и длиной сверхзвуковой части 5 см. Температура торможения 1000°K , дав-

ление торможения 5 атм , размеры критического сечения $0,5 \times 100 \text{ мм}$. Зондирующий луч однододового, одночастотного CO_2 -лазера был направлен параллельно большому размеру критического сечения и пересекал поток газа в точке выхода его из сопла.



Рис. 1. Временная запись коэффициента усиления-поглощения в сверхзвуковом потоке газа. Метки времени (нижняя шкала) следуют через 15 сек

На рис. 1 приведена запись во времени коэффициента поглощения – усиления сигнала CO_2 -лазера, работающего на переходе ($00^\circ 1 / = 15$) \rightarrow ($02^\circ 0 / = 14$), R – ветвь, частота излучения $1074,63 \text{ см}^{-1}$. Направление оси ординат вниз соответствует поглощению, направление оси вверх – усилению. Метки времени на оси абсцисс следуют через 15 сек . Перед началом пуска (интервал 1 – 2) сопло и камера, куда происходит выброс газа, вакуумируются ($p = 2 \text{ тор}$). В дальнейшем во время пуска давление в камере медленно повышается до $p = 4 \text{ тор}$. В начале пуска (интервал 2 – 3) через сопло продувается смесь из углекислого газа (24%) и азота (76%) с низкой температурой ($T = 290^\circ \text{K}$), содержащая влагу в количестве не более 0,05%. Поскольку газовая смесь холодная, то нижний ($02^\circ 0$) и верхний ($00^\circ 1$) лазерные уровни практически пустые, и поглощение не может быть зарегистрировано. На интервале (3 – 4) после включения электрических нагревателей (точка 3) происходит постепенное повышение температуры газа до 1000°K . Вместе с ростом температуры увеличивается поглощение. На интервале (4 – 5) к первоначальной смеси газов добавляется вода в молярной концентрации 2 – 10%. При этом поглощение в потоке газа уменьшается до нуля, а затем появляется усиление. Вода распыляется в потоке газа в момент входа его в нагреватель. Молекулы воды вызывают ускоренную релаксацию молекул CO_2 с нижнего лазерного уровня при течении газа в сверхзвуковой части сопла. Сокращение времени жизни молекул на верхнем лазерном уровне за счет столкновений $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ начинает проявлять себя при больших концентрациях воды, когда населенность верхнего уровня успевает заметно уменьшиться за время движения газа по соплу. Зависимость коэффициента усиления от содержания воды в смеси приведена на рис. 2. Кривая на рис. 2 есть результат обработки записи на интервале (4 – 5). После прекращения подачи воды (точка 5) поглощение вновь увеличивается до прежнего уровня (интервал 5 – 6). Затем (точка 6) выключаются нагреватели, прекращается подача смеси, и через сопло продувается азот (содержание влаги не более 0,04%), который не вызывает ослабления лазерного луча (интервал 6 – 7).

Измерение коэффициента усиления в указанной смеси газов проводились также на частоте $947,73 \text{ см}^{-1}$, которая соответствует переходу ($00^\circ 1 / = 15$) \rightarrow

($10^{\circ} 0' = 16$), P – ветвь. Они показали, что инверсия в сверхзвуковом потоке существует также для пары уровней ($00^{\circ} 1$) – ($10^{\circ} 0$), однако, коэффициент усиления оказывается меньше и составляет $6 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ при концентрации воды 2,1%.

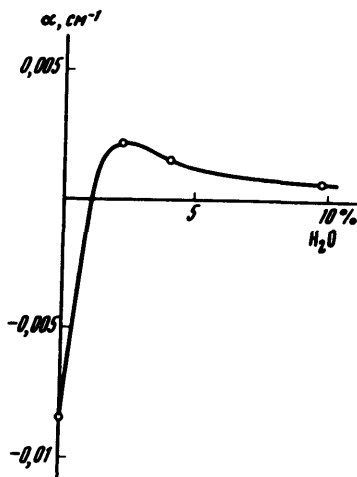


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления от содержания воды в смеси углекислого газа и азота

Оптический резонатор, с помощью которого был зарегистрирован эффект генерации, образовывался плоским и вогнутым ($R = 2 \text{ м}$) зеркалами, которые располагались на расстоянии 34 см. Оптическая ось резонатора находилась в плоскости выходного среза сопла и была параллельна образующей клина. Зеркала имели золотое покрытие с коэффициентом отражения 98%, излучение из резонатора выводилось через отверстие в плоском зеркале диаметром 1 мм. Режим самовозбуждения возникал всякий раз, когда в нагретую газовую смесь из 14% CO_2 и 86% N_2 подмешивалась вода в количестве 1 + 3%. Выходная мощность ГКГ составляла несколько ватт.

Авторы выражают благодарность Г.И.Петрову за плодотворные обсуждения.

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

Поступила в редакцию
6 октября 1970 г.

Литература

- [1] В.К.Конюхов, А.М.Прохоров. Авторское свидетельство № 223954 приоритет 19.11. 1966, Б.И. №25, 1968.
- [2] В.К.Конюхов, А.М.Прохоров. Письма в ЖЭТФ, 3, 436, 1966.
- [3] A.Hertzberg, I.R.Hurle. Bull. Am. Phys. Soc., 9, 582, 1964.
- [4] Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский. ЖЭТФ, 44, 1742, 1963.
- [5] Н.Г.Басов, В.Г.Михайлов, А.Н.Ораевский, В.А.Шеглов. ЖТФ, 38, 2031, 1968.
- [6] Н.Г.Басов, А.Н.Ораевский, В.А.Шеглов. ЖТФ, 37, 339, 1967.
- [7] А.С.Бирюков, Б.Ф.Гордиец, Л.А.Шелепин. ЖЭТФ, 57, 585, 1969.
- [8] I.R.Hurle, A.Hertzberg. Phys. Fluids, 8, 1601, 1965.
- [9] В.К.Конюхов, И.В.Матросов, А.М.Прохоров, Д.Т.Шалунов, Н.Н.Широков. Письма в ЖЭТФ, 10, 84, 1969.
- [10] D.M.Kuchn, D.J.Monson. Appl. Phys. Lett., 16, 48, 1970.

[11] А.П.Дронов, Е.М.Кудрявцев, Н.Н.Соболев, А.С.Дьяков. Письма в ЖЭТФ, 11, 516, 1970.

[12] Laser Focus, 6, 16, 1970.

[13] B.R.Bronfin, L.R.Воедекер, J.P.Cheyer. Appl. Phys. Lett., 16, 214, 1970.
