

ВОЗБУЖДЕНИЕ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ В СМЕСЯХ ГАЗОВ ИЗЛУЧЕНИЕМ СО₂-ЛАЗЕРА

Н. В. Карлов, Н. А. Карпов, Ю. Н. Петров,
А. М. Прохоров, О. М. Стельмах

В этой статье сообщается о полученном в первые инициировании цепной реакции излучением СО₂-лазера, сопровождающейся взрывной волной. Мы обнаружили, что при облучении смеси взаимно не реагирующих газов Н₂ и ВСl₃ излучением СО₂-лазера (волна 10,6 мк) инициируется бурно протекающая химическая реакция. Реакция возникает при диссоциации молекулы ВСl₃ излучением лазера. Фронт реакции распространяется в виде цилиндрической взрывной волны.

Известно, что облучение газообразного ВСl₃ излучением СО₂-лазера приводит к диссоциации молекул этого газа [1]. Частота излучения лазера совпадает с частотой колебаний ν_3 молекулы ВСl₃, и диссоциация возникает в процессе каскадного заселения высших колебательных уровней молекулы и представляет собой преддиссоциацию при колебании, т. е. безызлучательный переход с высших колебательных уровней $n\nu_3$ в непрерывный спектр, примыкающий к диссоциационному пределу колебаний ν_2 . При колебании ν_2 атом бора выходит из плоскости молекулы. Отрыв атома бора приводит к разрушению молекулы и появлению атомарного хлора.

Появление при диссоциации атомарного хлора должно привести к возникновению химически активных центров. Поэтому облучение стабильных газовых смесей, содержащих ВСl₃, может инициировать химическую реакцию, в том числе протекающие довольно бурно.

Эксперимент выполнен для смеси Н₂: ВСl₃ — 20 : 1 при суммарном давлении 1 атм. Использован СО₂-лазер с импульсным включением питания. Форма импульса излучения близка к прямоугольной с передним фронтом ~ 0,5 мсек, длительностью 30 мсек и мощностью до 600 вт.

Излучение лазера коллимировалось системой соляных линз в практически параллельный пучок диаметром 0,3 см и направлялось вдоль оси кюветы с исследуемой смесью. Кювета представляла собой толстостенный латунный цилиндр длиной 10 см и внутренним диаметром 4 см. Входное окно кюветы герметизировано пластиной из кристаллического $ZnSe$, выходное и боковые окна закрыты пластинами из $NaCl$.

Кювета снабжена скоростным пьезодатчиком давления, расположенным у ее боковой стенки. Наблюдались также видимое свечение и ИК спектры поглощения газовой смеси. Видимое свечение регистрировалось как через боковое окно с помощью ФЭУ -62, так и с торца кюветы с помощью скоростной кинокамеры СКС-1М.

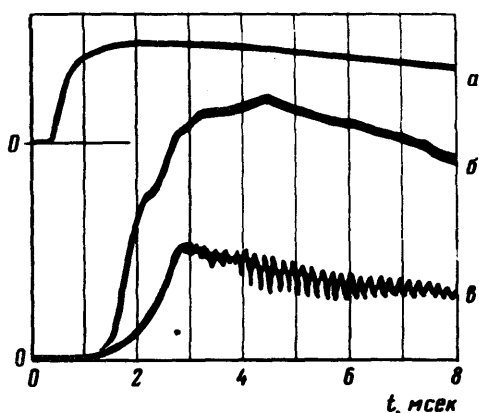


Рис. 1. Форма облучающего 10-мк импульса (a) и зависимости интенсивности видимой люминесценции (б) и давления газа (в) от времени

При включении излучения в смеси $H_2 : BCl_3$ возникает взрывная реакция сопровождающаяся интенсивным видимым свечением и резким увеличением давления. Свечение возникает с некоторой задержкой. Длительность задержки зависит от парциального давления BCl_3 , интенсивности лазерного излучения, а также от чистоты исходных реагентов. Светящаяся область распространяется от оси к периферии кюветы в виде цилиндрической оболочки. По мере распространения эта область сужается и становится более яркой. Свечение максимально, когда светящаяся область достигает стенок кюветы. Одновременно становится максимальным давление, достигающее $40 + 50$ атм. Время распространения этой волны свечения составляет 1,5 мсек. В течение всего этого времени газ в зоне луча продолжает светиться. Когда светящийся слой достигает стенок кюветы, его свечение гаснет. Одновременно в центре кюветы возникает вторичное свечение в области диаметром, превышающим диаметр лазерного луча. Вторичное свечение продолжается несколько миллисекунд.

Спектроскопическое исследование интенсивности линий поглощения колебания ν_3 молекул BCl_3 во время взрыва свидетельствует о необратимом исчезновении этого газа за время распространения взрывной волны.

На рис. 1 приведены зависимости интенсивности лазерного излучения (a), яркости свечения (б) и давления (в) газа от времени. Одно деление соответствует 1 мсек. На рис. 2 приведена кинограмма процесса распространения волны реакции. Кадры следуют с интервалом 250 мсек.

Наблюдаемая динамика инициируемой лазером реакции аналогична процессам распространения волн горения в ламинарных потоках в замкнутых сосудах [2]. По-видимому, в нашем случае на фронте волны горения происходят цепные реакции образования и разложения высших боранов (гидридов бора) и хлорирования водорода, инициированные появлением в зоне лазерного луча атомарного хлора, а также активных радикалов BCl и BCl_2 .

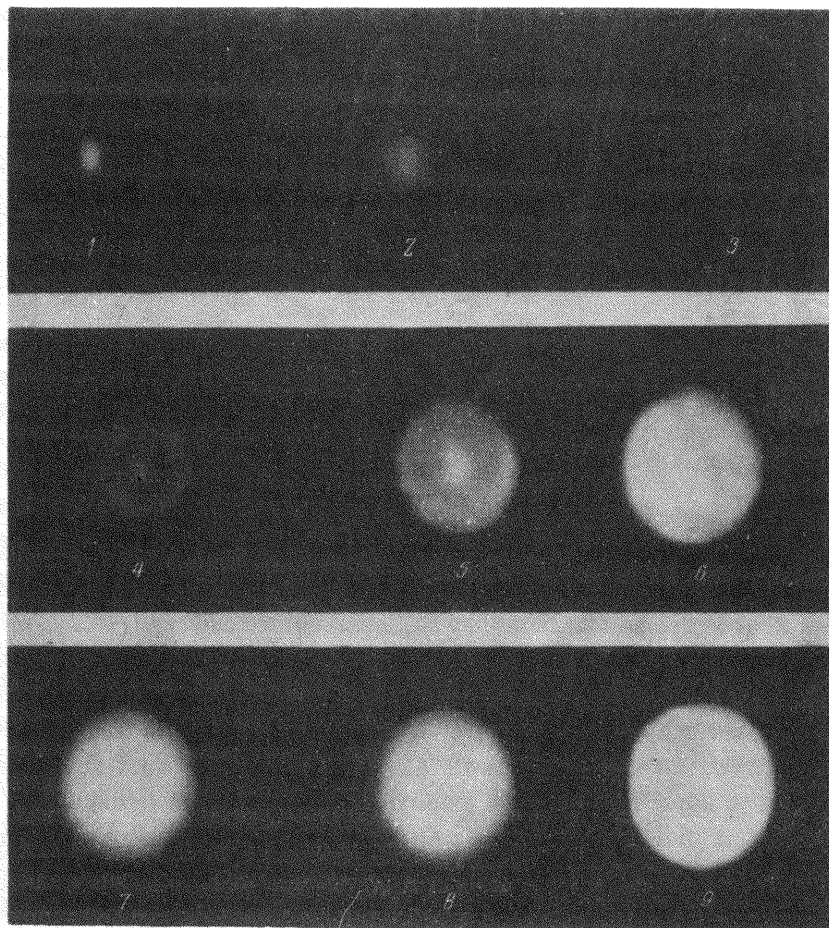


Рис. 2. Кинограмма распространения цилиндрической волны реакции в смеси газов BCl_3 ; $\text{H}_2 = 1:20$ при давлении 1 атм. Покадровый интервал 250 мксек

Знание динамики взрыва позволяет найти скорость пламени и вычислить скорость горения в первой волне реакции, оказавшуюся заключенной в пределах $0,5 + 2$ м/сек. Можно предположить также наличие во вторичном свечении волн реакции, обладающих большими скоростями горения у стенок кюветы, что приводит к появлению волн давления, хорошо заметных на рис. 1, в.

Таким образом, облучение мощным лазерным излучением на волне 10,6 мк позволило наблюдать инициирование цепных реакций в смеси газов BCl_3 и H_2 . Опыты такого типа указывают на возможность лазерного управления химическими реакциями.

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

Поступила в редакцию
29 июня 1971 г.

Литература

- [1] Н.В.Карлов, Ю.Н.Петров, А.М.Прохоров, О.М. Стельмах. Письма в ЖЭТФ, 11, 220, 1970.
 - [2] Б.Льюис, Г.Эльбе. Горение, пламя и взрывы в газах. М., Мир, 1968.
-