

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

УДК 530.182.551.10

Ю.В. Павутницкий, Д.С. Смирнов, И.А. Федоров, М.В. Шиленков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОСВЕТЛЕНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ В ПОЛЕ МОЩНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ HF-НЕПРЕРЫВНОГО ХИМИЧЕСКОГО ЛАЗЕРА ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Исследуется механизм увеличения прозрачности (просветления) слоя движущихся со скоростью около 1200 м/с субмикронных частиц углерода и оксида магния. Давление окружающей среды понижено до 50 Па. Воздействие на слой осуществлялось излучением HF-непрерывного химического лазера (плотность мощности до 30 МВт/м², поперечное сечение луча 10 см²).

Показано, что изменение прозрачности слоя (просветление) происходит прежде всего вследствие <выноса> частиц из поля мощного лазерного излучения. Оценено изменение дисперсного состава частиц после облучения.

Разработка ряда новых перспективных направлений с использованием мощных лазеров – дальняя лазерная локация, передача энергии на отдаленные объекты, дистанционное зондирование с активным воздействием на среду – невозможна без исследования распространения высокоинтенсивного непрерывного лазерного излучения в мелкодисперсных средах.

Значительный интерес при этом представляют различные нелинейные эффекты, возникающие при взаимодействии мощного лазерного излучения с такими средами.

На протекание разнообразных процессов при таком взаимодействии сильное влияние оказывают характеристики дисперсных частиц, параметры лазерного излучения, величина давления окружающей среды.

В практическом плане большой интерес представляют дисперсные среды, создаваемые с помощью специальных пиротехнических генераторов. Такие среды, как правило, характеризуются сложной структурой, дисперсным и элементным составом, распространяются с достаточно большими скоростями относительно источника излучения и часто в условиях пониженного давления окружающей среды.

В настоящее время процессы взаимодействия мощного лазерного излучения с подобными средами в указанных условиях исследованы еще недостаточно, несмотря на большое количество работ по проблеме в целом.

Данная статья посвящена экспериментальному исследованию механизма просветления слоя быстро движущихся мелкодисперсных частиц, создаваемых пиротехническим генератором, в поле мощного излучения HF-непрерывного химического лазера (НХЛ) при пониженном до 50 Па давлении окружающей среды.

Экспериментальное оборудование и методика испытаний

Экспериментальный комплекс, на котором были выполнены опыты, включал следующие основные элементы: стендовый источник мощного лазерного излучения (HF-НХЛ с выходной мощностью около 30 кВт), экспериментальную сборку, пиротехнический генератор дисперсной среды, оптическую схему, системы измерений и автоматического управления комплексом. Эти элементы были достаточно подробно описаны в [1], поэтому ниже рассмотрены только их основные особенности, существенные для рассматриваемого вопроса.

Экспериментальная сборка содержит измерительный канал, снабженный восьмью иллюминаторами для ввода и вывода <силового> излучения и проведения измерений, а также сферическую сборную емкость. Оптика иллюминаторов защищена от воздействия частиц специальными устройствами. Внутри сборки расположены устройства для регулирования и замера плотности тока частиц.

К верхнему торцу измерительного канала пристыковывается генератор мелкодисперсной среды пиротехнического типа, создающий поток частиц углерода и оксида магния, движущихся

ся со скоростью около 1200 м/с. Ось потока частиц перпендикулярна плоскости, в которой лежат оси оптических вводов (иллюминаторов). Средний размер частиц около 1 мкм, а массовый расход варьировался от 1,5 до 20 г/с. Внутренняя полость экспериментальной сборки образует замкнутый объем, который вакуумируется до остаточного давления около 50 Па.

Устройство для отбора проб частиц представляет собой изокINETИЧЕСКИЙ отборник (импактор) со сверхзвуковым заборным устройством и вращающимся диском, на котором закреплены предметные стекла. Ось отборника совпадает с осью потока частиц и перпендикулярна плоскости вращения диска, причем ось вращения диска смещена относительно оси отборника. До начала отбора пробы отборник закрыт затвором, который открывается на период одного оборота диска, в течение которого и происходит осаждение частиц потока на предметные стекла.

Используемая при проведении опытов оптическая схема показана на рис. 1. Она включает каналы <силового> и зондирующего лучей. Коллимация мощного излучения НФ-НХЛ в области взаимодействия с движущейся мелкодисперсной средой осуществлялась при помощи медного длиннофокусного сферического зеркала 1. При этом поперечное сечение <силового> луча в области измерительного канала составляло 47×25 мм (наибольший размер ориентирован по направлению движения частиц).

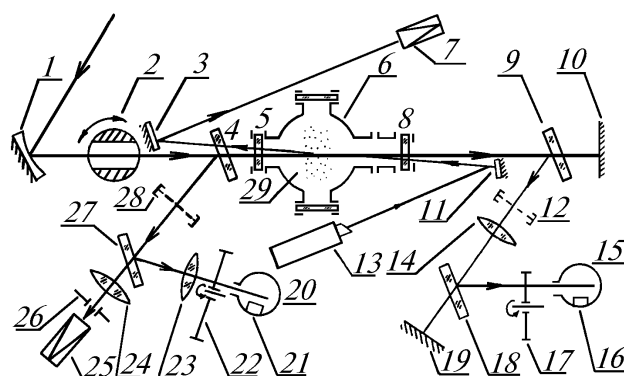


Рис. 1. Оптическая схема: 1 – сферическое фокусирующее зеркало; 2 – затвор; 3, 11 – плоские поворотные зеркала; 4, 9, 18, 27 – пластины делительные; 5, 8 – окна иллюминаторов (КИ); 6 – измерительный канал; 7 – ФЭУ-62; 10, 19 – поглотители; 12, 28 – проходные сеточные болометры; 13 – ОКГ ЛГН-302; 14, 23, 24 – линзы (КИ); 15, 20 – интегрирующие сферы; 16, 21 – пироэлектрические приемники МГ-30 А; 17, 22 – модуляторы; 25 – калориметр; 26 – диафрагма; 29 – дисперсная среда

Интенсивность воздействующего на фронтальную поверхность слоя частиц излучения определялась по показаниям охлаждаемого термопарного калориметра 25. Степень ослабления излучения (прозрачность трассы) измерялась по двум независимым каналам при помощи малоинерционных болометрических измерителей мощности проходного типа 12, 28 и двух пироэлектрических приемников оптического излучения МГ-30А 16, 21. Приемники помещены в интегрирующие сферы 15, 20, входные отверстия которых <ометаются> дисками модуляторов 17, 22. Для согласования размеров поперечного сечения луча с входной апертурой приемников использовались линзы 14, 23, 24.

В качестве зондирующего луча использовалось излучение ОКГ ЛГН-302 13 с длиной волны 0,63 мкм. Диаметр поперечного сечения зондирующего луча составлял 5 мм, он заводился в трассу <силового> луча при помощи плоского зеркала 11 с угловым отклонением около 2°. Мощность зондирующего пучка измерялась специальным приемником 7 (ФЭУ-62).

Методика проведения опыта предусматривала запуск пиротехнического генератора дисперсной среды с запаздыванием по отношению к моменту пуска и выхода на режим источника излучения. Это позволяло провести калибровку трассы без дисперсной среды. В ходе опыта силовой луч периодически перекрывался с частотой 0,4 Гц с помощью механического затвора. Отбор проб дисперсной среды начинался в период полного перекрытия силового луча затвором.

Результаты наблюдений и выводы

Механизм взаимодействия излучения НФ-НХЛ с мелкодисперсными частицами исследовался в диапазоне плотностей мощности воздействующего излучения от 0,2 до 30 МВт/м².

В ходе исследований отмечено существенное увеличение прозрачности слоя при повышении интенсивности лазерного пучка сверх 3 МВт/м^2 . Столь невысокое значение плотности мощности, соответствующее началу нелинейных эффектов, делает маловероятным реализацию в зоне взаимодействия сублимационного механизма просветления, выделенного как основного в работе [2] для условий пониженного давления воздуха.

В пользу данного предположения свидетельствует также увеличение прозрачности трассы и для зондирующего пучка при наличии просветления под действием силового излучения. Иначе, в случае уменьшения размеров частиц вследствие сублимации (или фрагментации), наблюдалось бы <замутнение> трассы, обусловленное увеличением фактора эффективности ослабления зондирующего излучения с длиной волны $0,63 \text{ мкм}$ при уменьшении размеров частиц до размера, близкого к данной длине волны. Подобные эффекты подробно описаны, например, в [3].

Анализ результатов отбора проб частиц дисперсной среды показывает, что воздействие мощного лазерного излучения НФ-НХЛ приводит к существенному снижению массы пробы, отобранной на оси потока непосредственно под трассой луча.

На рис. 2 приведена фотография диска отборника с расшифровкой циклограммы отбора пробы, где наглядно виден данный эффект. График зависимости средней массы пробы от плотности мощности воздействующего излучения показан на рис. 3.

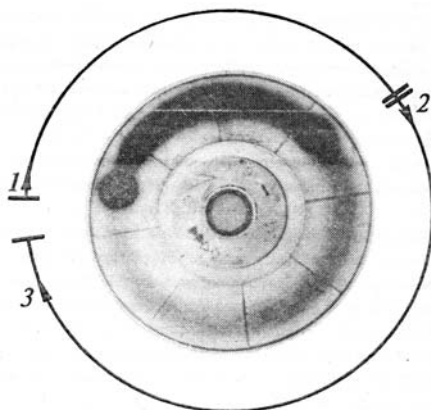


Рис. 2. Фотография диска: 1 – момент начала отбора пробы, затвор закрыт; 2 – момент полного открытия затвора; 3 – момент окончания отбора пробы

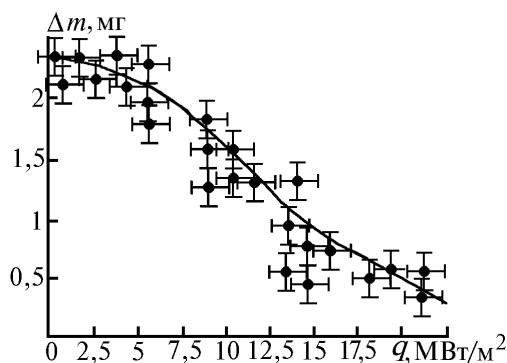


Рис. 3

Таким образом, в качестве определяющего механизма просветления потока дисперсных частиц, создаваемого пиротехническим генератором в условиях вакуума, можно предположить механизм интенсивного уноса частиц с трассы луча.

Реализация данного механизма просветления, вероятно, связана с особенностями формирования мелкодисперсных частиц в пиротехническом генераторе. Так, конденсируясь в процессе движения в сверхзвуковом сопле генератора, твердая фаза продуктов сгорания образует достаточно <рыхлые> (рис. 4) вторичные сажистые агрегаты, увлекающие с собой некоторые остаточные газы. Попадая в поле мощного лазерного излучения, частицы быстро прогревают-

ся, что приводит к <высвобождению> этих газовых включений. Следствием этого является возникновение реактивного импульса, направление которого, в основном, противоположно направлению градиента интенсивности излучения, падающего на частицу. Об этом свидетельствует характер <заброса> оптики иллюминаторов частицами.

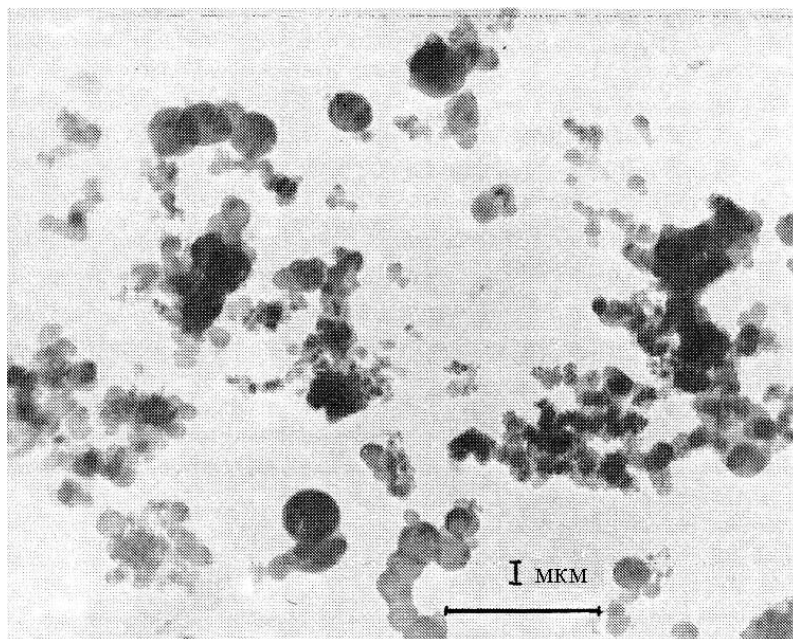


Рис. 4

Указанные обстоятельства приводят к резкому изменению траектории частиц и выбросу их из поля излучения, что вызывает увеличение прозрачности трассы (ее просветление).

Помимо этого, исследование дисперсного состава частиц, отобранных после прохождения трассы, показало некоторое уменьшение среднего размера частицы с 1,05 до 0,83...0,9 мкм, что является следствием частичного разрушения относительно непрочных связей во вторичных сажистых агрегатах, обусловленного выходом газовых включений.

Таким образом, в результате проведенных исследований уточнен механизм просветления дисперсной среды, представляющий собой смесь частиц углерода и оксида магния под действием мощного излучения HF-НХЛ в условиях пониженного давления.

В связи с отмеченными особенностями весьма актуальным является исследование влияния угла между вектором скорости частиц и вектором распространения лазерного излучения на характеристики процесса просветления подобных дисперсных сред.

1. Грибакин В. А., Павутницкий Ю. В., Федоров И. А., Шиленков М. В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 5. С. 565–571.
2. Лоскутов В. С., Стрелков Г. М. // X Всесоюзный симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере (Тезисы докл.). Томск: ТНЦ СО АН СССР, 1989. С. 292–293.
3. Волковицкий А. О., Седунов Ю. С., Семенов Л. П. Распространение интенсивного лазерного излучения в облаках. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 282 с.

Военная инженерно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Российский научный центр <Прикладная химия>, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию
1 июня 1994 г.

Ju.V. Pavutnitskii, D.S. Smirnov, I.A. Fedorov, M.V. Shilenkov. **Experimental Investigation of a Lightening Mechanism of a Dispersed Media Moving in the Field of High Power Chemical CW HF-Laser Radiation at Low Pressure.**

Results of examination of a transparency increase (lightening effect) of the layer of carbon and magnesium particles of submicron size moving at the rate of 1200 m/s and pressure of 50 Pa are presented. The layer of particles was exposed to HF-CW – laser radiation with power density of about 30 MW/m² and the beam cross-section about 10 cm².

The transparency change is shown to be due first of all to the particles draft out of the field of high power laser radiation. The dispersed medium evolution after exposure to laser radiation is estimated.