

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Марголин. ФГВ, 1979, 15, 3.
2. А. В. Дубовик, Т. В. Рыбанина. ФГВ, 1979, 13, 3.
3. Р. И. Нигматулин. Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978.
4. Л. И. Седов. Механика сплошной среды. Т. 2. М.: Наука, 1973.

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУР И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СРЕДЫ ВОКРУГ ГОРЯЩЕЙ УГЛЕРОДНОЙ ЧАСТИЦЫ

В. И. Букацкий, О. А. Косых, М. Ю. Свердлов
(Барнаул)

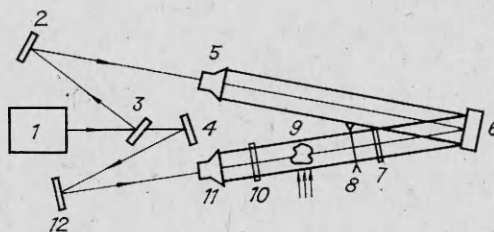
При распространении мощного лазерного излучения в аэрозольной среде, состоящей из углеродных частиц типа сажи, дыма, каменного угля и т. д., находящихся в холодном воздухе, при достижении определенных критических параметров происходит воспламенение и горение аэрозоля. В окрестности горячей частицы существенно изменяются термодинамические и оптические параметры окружающей среды. В ряде задач теории горения (например, в задачах распространения пламени в горючих аэрозолях) интерес представляет знание полей температуры вокруг горящих частиц. Использование однозначной зависимости между показателем преломления среды и ее температурой позволяет также находить конкретное решение оптических задач переноса излучения в дисперсной среде с тепловыми ореолами вокруг частиц.

В работе с помощью голографического метода экспериментально изучена динамика поля показателей преломления (температур) воздушной среды вокруг одиночных углеродных частиц в процессе действия излучения CO_2 -лазера типа ЛГ-25. Результаты экспериментальных исследований температуры поверхности горячей углеродной частицы, а также расчеты полей показателя преломления вокруг частицы, находящейся под действием мощного лазерного излучения, представлены в [1, 2].

Исследования проводили на голографической установке типа УИГ-1м методом двойной экспозиции. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Частицу (рис. 1, 9) помещали на торцевую часть тонкой кварцевой нити и подвергали воздействию излучения CO_2 -лазера с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм и фиксированной плотностью мощности $I \sim 10^3$ Вт/см² (мощность излучения ~ 30 Вт). Направление распространения лазерного луча совпадало с осью нити, расположенной вертикально, что позволило реализовать случай осесимметричного объекта [3]. Для лучшей визуализации частицы перед голограммой устанавливали объектив 8 с фокусным расстоянием 5 см. Для предотвращения засветки от горячей частицы использовали светофильтр типа КС-11. Голографическую установку запускали с помощью системы синхронизации, которая позволяла регистрировать процесс в различные моменты времени от начала воздействия излучения. В данной работе получены интерферограммы от горячей частицы соответственно через 0,3, 0,9 и 1,2 с после начала воздействия.

Рис. 1. Блок-схема установки.

1 — источник когерентного излучения (рубиновый лазер); 2, 4, 12 — зеркала; 3 — светоделитель; 5, 11 — расширители; 6 — голограмма; 7 — светофильтр КС-11; 8 — объектив; 9 — объект; 10 — диффузор.



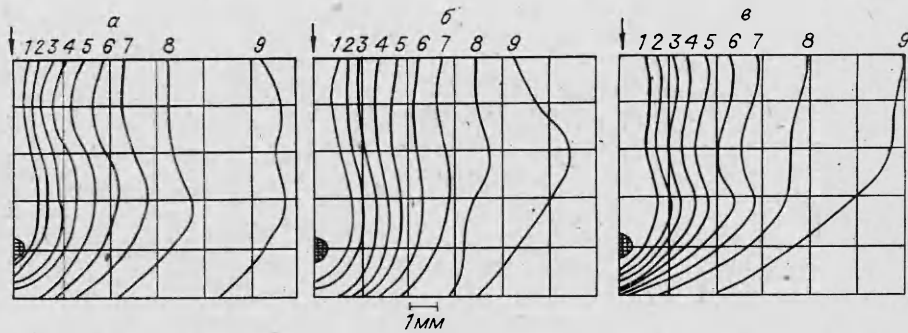


Рис. 2. Карты изолиний $(n-1) \cdot 10^4$ спустя 0,3 (а), 0,9 (б) и 1,2 с (в) после начала воздействия.
 $(n-1) \cdot 10^4$: 1 — 1,0, 2 — 1,25, 3 — 1,5, 4 — 1,75, 5 — 2,0, 6 — 2,25, 7 — 2,5, 8 — 2,75, 9 — 2,9 (окружающая среда).

Обработку интерферограмм проводили численно на ЭВМ методом, предложенным в [3] и основанным на численном интегрировании обращенного уравнения Абеля, связывающего показатель преломления со сдвигом интерференционных полос. Поле показателя преломления рассчитывали по формуле

$$n_i - n_0 = -\frac{2\lambda}{\pi \Delta r} \sum_{k=i}^{j-1} B_{ki} (N_{k+1} - N_k),$$

где λ — длина волны зондирующего излучения ($\lambda = 0,69$ мкм); Δr — ширина зон разбиения; n_i — значение показателя преломления в i -й зоне; n_0 — показатель преломления невозмущенного воздуха; j — число зон разбиения; N_k — смещение полосы в k -й зоне; $B_{ki} = \{[(k+1)^2 - i^2]^{1/2} - (k^2 - i^2)^{1/2}\} / (2k+1)$ — коэффициенты. Суммарная погрешность определения показателя преломления складывается из ошибок эксперимента и расчета на ЭВМ и составила $\sim 20\%$.

Существует совокупность различных методов анализа интерферограмм радиально-симметричных фазовых объектов [3]. Все они являются решением обращенного уравнения Абеля, и применение наиболее подходящего метода определяется конкретными условиями эксперимента.

Результаты обработки интерферограмм для частицы сажи типа ПМ-75 с диаметром $d = 0,8$ мм представлены в соответствующем масштабе на рис. 2. Заштрихована область, занятая самой частицей, излучение CO_2 -лазера в данном случае падает в направлении, указанном стрелкой. Видно, что изолинии, соответствующие одинаковому показателю преломления, вытягиваются вверх, что означает значительное нарушение сферической симметрии процесса, начиная по крайней мере с момента времени $\sim 0,3$ с. Основная причина появления асферичности обусловлена возникновением конвективных потоков вследствие нагрева частицы до высокой температуры, по оценкам равной 2700 К. Пользуясь соотношением Гладстона — Дэйла, можно легко найти однозначную зависимость между температурой и показателем преломления и построить для рассмотренных случаев соответствующие поля температур. Таким образом, полученные данные показывают, что область возмущения температуры (показателя преломления) вокруг облучаемой частицы имеет значительные размеры уже в начале воздействия, а спустя 1,2 с достигает в поперечнике ~ 16 мм в горизонтальном и ~ 25 мм в вертикальном направлениях. Приведенные выше результаты относятся к частице с диаметром $d = 8$ мм, однако общие закономерности выполняются также для частиц в исследованном диапазоне размеров от 0,6 до 1,5 мм в случае воздействия мощного излучения с вышеуказанными параметрами.

Поступила в редакцию 11/V 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Краснопевцев, И. А. Суторихин. Динамика температуры углеродных частиц.— В кн.: Распространение мощного оптического излучения в твердом аэрозоле. Барнаул: изд. АГУ, 1982.
2. В. И. Букатый, А. М. Шайдук. Оптические возмущения среды вокруг горящих частиц. Тез. докл. 2-го Всес. совещ. по распространению лазерного излучения в дисперсной среде. Обнинск: изд. ИЭМ, 1982.
3. Ч. Вест. Голографическая интерферометрия. М.: Мир, 1982.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СВЕРХРАВНОВЕСНОЙ НАКАЧКИ В CO_2 -ГДЛ НА СМЕСИ $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$ С ДОБАВКАМИ ВОДОРОДА

С. И. Крючков, Н. Н. Кудрявцев, С. С. Новиков, В. Н. Щеглов
(Москва)

Протекание отдельных экзотермических стадий химических реакций в расширяющемся потоке газа может приводить к увеличению показателя усиления в инверсной заселенности в газодинамических лазерах за счет прямого преобразования химической энергии в энергию излучения [1, 2]. Такое сочетание химического и газодинамического способов создания инверсной заселенности получило название эффекта сверхравновесной накачки в ГДЛ.

Перспективность использования химической реакции $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$ для сверхравновесной накачки CO_2 -ГДЛ показана в [2]. Механизм данного эффекта в CO_2 -ГДЛ на реагирующей смеси $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$ остается к настоящему времени не выясненным. В [3] на основе анализа пятистадийной цепной схемы брутто-реакции $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$, предложенной в [4], показано, что сверхравновесная накачка может происходить в результате протекания рекомбинации $\text{CO} + \text{O} + \text{M}$ в расширяющемся потоке в области критического сечения сопла. В более поздних исследованиях кинетики взаимодействия молекул CO и N_2O [5, 6] установлено, что реакция протекает по цепному механизму, обусловленному следовыми примесями молекул водорода и воды. В [7] для условий ГДЛ в режиме сверхравновесной накачки разработана кинетическая схема этой реакции, основанная на цепном механизме.

В данной работе с целью выяснения механизма сверхравновесной накачки в CO_2 -ГДЛ на реагирующей смеси $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$ экспериментально исследованы параметры колебательной неравновесности — показателя усиления k_0 и колебательных температур асимметричной T_3 и объединенной (симметричной и деформационной) T_2 мод CO_2 в сверхзвуковом потоке на выходе из сопла ГДЛ на ударной трубе. Исследовались смеси с различным количеством добавок молекулярного водорода, что позволяло изменять эффективность протекания элементарных стадий брутто-реакции $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$. Для условий экспериментов теоретически моделировались химические превращения в смеси для выявления экзотермических элементарных стадий реакции $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$, определяющих сверхравновесную накачку. Экспериментальные исследования проводились с использованием сравнительного метода [2]; в котором сопоставляются параметры колебательной неравновесности в реагирующей и инертной смесях.

В [7] для цепной реакции $\text{CO} + \text{N}_2\text{O}$ в присутствии добавок водорода или паров воды выделены восемь наиболее существенных экзотермических элементарных стадий, в которых могут образовываться колебательно-возбуждающие молекулы, способные передать свою энергию асимметричной моде CO_2 .