

А.М. Шайдук

**ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
РЕАКЦИОННОСПОСОБНОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

В отличие от классической нелинейной оптики распространение лазерного излучения в дисперсной среде может сопровождаться нелинейными явлениями, возникающими при значительно меньших интенсивностях оптического излучения. Механизм возникновения нелинейности в подобных процессах существенно иной, что дало повод в существующей терминологии чаще использовать слово «самовоздействие излучения». Значительную долю аэрозольных частиц антропогенного происхождения составляют углеродные частицы, способные, например, воспламеняться при воздействии на них оптического излучения, изменяя тем самым условия переноса излучения через подобный аэрозоль.

К настоящему моменту накоплен обширнейший материал о процессах и явлениях, происходящих при взаимодействии мощного оптического излучения как с отдельными аэрозольными частицами, так и с ансамблем частиц [1-3]. Это позволяет, наконец, реально ставить проблему комплексной реакции аэрозольной системы на воздействие мощного оптического излучения в зависимости от его интенсивности и доводить решение этой проблемы до экспериментально наблюдаемых параметров, что связано с интенсивным применением численных методов. В качестве иллюстрации возможных результатов решения проблемы ниже рассмотрено изменение оптических характеристик монодисперсного аэрозоля, состоящего из горючих частиц, при воздействии на него оптического излучения, с учетом наиболее важных процессов выгорания частиц, их испарения и возможной последующей переконденсации.

Наиболее низкопороговым эффектом самовоздействия является воспламенение аэрозольных частиц. В этом случае, как показано в [4, 5], зависимость объемного

коэффициента аэрозольного ослабления от времени в бугеровском приближении есть

$$(1)$$

Наличие постоянной составляющей физически обусловлено тем, что появившаяся в результате выгорания мелкодисперсная фракция аэрозоля меняет режим горения и практически гаснет в силу резкой зависимости скорости горения от температуры в кинетическом режиме. При увеличении интенсивности излучения развиваются процессы испарения вещества аэрозольной частицы. Как показывают численные расчеты, при этом процесс горения подавляется из-за вытеснения кислорода из зоны гетерогенной реакции потоком испаренного вещества, и процесс испарения становится преобладающим. Для оценки можно считать процесс испарения пороговым, начинающимся при радиусе частиц

$$(2)$$

где постоянная A найдена нами в работе [6]; I – интенсивность воздействующего излучения. Если использовать данное соотношение для оценки минимального сечения рассеяния на частице, то ясно, что в процессе воздействия и в режиме испарения в аэрозоле появляется неизменяющаяся со временем мелкодисперсная фракция, приводящая к остаточному объемному коэффициенту ослабления.

При дальнейшем увеличении интенсивности излучения процесс испарения переходит в газодинамический режим. При этом пар, покидающий окрестности частицы, является резко пересыщенным [1]. Это приведет к возникновению облака вторичных частиц. Полная масса образовавшихся вторичных частиц есть

(3)

где m_0 – масса молекулы пара, $p(r)$ – поле парциального давления вещества, $p_n(r)$ – поле давления насыщенного пара вещества, r – расстояние от центра частицы. В квазистационарном приближении оба интеграла расходятся на верхнем пределе [6]. Однако верхний предел интегрирования можно ограничить радиусом $R(t)$ исходя из понятного физического условия

(4)

где M_0 и $M(t)$ – масса испаряющейся первичной частицы в начале процесса и в момент времени t . Тогда полная масса образовавшихся вторичных частиц есть

(5)

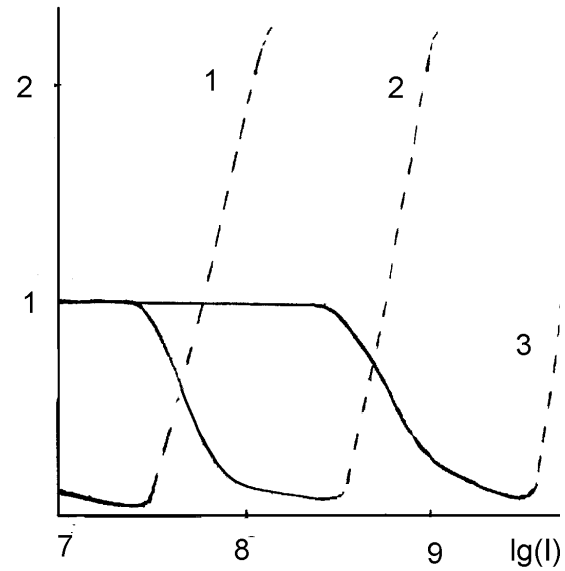
В режиме интенсивного испарения скорость изменения радиуса линейно зависит от интенсивности излучения

где величина k найдена в работе [6]. Приведенные соотношения позволяют определить массу сконденсированного вещества, однако для определения сечения рассеяния необходимо определить размер вторичных частиц. Детальная численная модель перекоонденсации, позволяющая это сделать, к сожалению, к настоящему моменту отсутствует. Однако можно предположить, что верхний размер вторичных частиц определится интенсивностью воздействующего излучения. Частицы радиусом больше критического будут продолжать испаряться, частицы радиусом меньше критического будут расти из-за конденсации.

В рамках сделанных приближений исходная система соотношений допускает численный расчет коэффициента объемного ослабления аэрозоля. Результаты расчета в

зависимости от интенсивности воздействующего излучения приведены на рисунке.

Различные кривые соответствуют разным начальным размерам частиц монодисперсных аэрозолей. Качественное поведение кривых приблизительно одинаково для частиц различных размеров и отличается сдвигом в сторону большей интенсивности для частиц меньшего начального радиуса.



Зависимость безразмерного коэффициента аэрозольного ослабления от интенсивности воздействующего излучения

Как видно из рисунка, полученные результаты приводят к выводу о существовании своеобразных окон прозрачности, т.е. диапазонов интенсивности излучения, воздействие излучения в которых в конечном итоге приводит к уменьшению коэффициента объемного ослабления аэрозоля. Физически это обусловлено процессами выгорания и испарения первичных частиц, однако при увеличении интенсивности рост массы перекоонденсированного вещества вновь увеличивает коэффициент объемного ослабления. В частности, отсюда следует, что при воздействии постоянного излучения на полидисперсный аэрозоль с широкой функцией распределения следует ожидать увеличения коэффициента объемного ослабления, поскольку крупночастичная фракция аэрозоля всегда попадает в область развитого

газодинамического режима испарения с активным зарождением вторичных частиц в результате переконденсации. Если целью воздействия является уменьшение коэффи-

циента объемного ослабления, то полученные результаты позволяют ставить задачу о наиболее эффективной зависимости интенсивности излучения от времени.

Литература

1. Букатый В.И., Суторихин И.А., Краснопевцев В.Н., Шайдук А.М. Воздействие лазерного излучения на твердый аэрозоль. Барнаул, 1994.

2. Букатый В.И., Суторихин И.А., Каплинский А.Е., Шайдук А.М. Нелинейное взаимодействие лазерного излучения с твердым антропогенным аэрозолем. Барнаул, 1996.

3. Сагалаков А.М., Шайдук А.М. Распространение ограниченных лазерных пучков в воспламеняющемся аэрозоле // Оптика атмосферы и океана. 1995. №8.

4. Шайдук А.М. Распространение интенсивного оптического излучения в твердом горючем аэрозоле: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск, 1983.

5. Лоскутов В.С., Стрелков Г.М. Просветление полидисперсного аэрозоля в разреженной среде // IV Всесоюзное совещание по распространению лазерного излучения в дисперсной среде. Обнинск, 1988.

6. Букатый В.И., Краснопевцев В.Н., Шайдук А.М. Испарение горючей частицы в мощном лазерном поле // Актуальные вопросы физики аэродисперсных систем: XIX Всесоюзная конференция. Одесса, 1986.