

В.И. Букатый, М.Ю. Свердлов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА НА ПРОЗРАЧНОСТЬ ТВЕРДОГО АЭРОЗОЛЯ В ПОЛЕ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Приведены результаты измерений прозрачности твердого аэрозоля в поле непрерывного излучения CO_2 -лазера при образовании вторичных частиц вследствие конденсации. Получены данные о зависимости конечной оптической толщи от начальной, от размера исходных аэрозольных частиц и интенсивности воздействующего излучения. В экспериментах с одиночной частицей зарегистрировано возникновение сферической оболочки вокруг частицы, в которой образуется вторичный конденсированный аэрозоль. Установлено, что размеры вторичных аэрозольных частиц не зависят от размера исходных частиц и интенсивности воздействующего излучения в исследуемых диапазонах.

Интенсивное испарение аэрозольной частицы, вызванное радиационным нагревом, может привести к конденсации пара и образованию облака вторичных частиц [1, 2]. В [2] сообщаются результаты экспериментальных исследований процесса конденсации пара при воздействии излучения CO_2 -лазера на водный аэрозоль и кристаллики льда. Нами в отличие от [2] проводились исследования при более высоких интенсивностях излучения и с твердыми частицами, которые испаряются, минуя жидкую фазу, т. е. возгоняются. Получены также результаты прямых измерений размеров вторичных частиц.

В экспериментах в качестве объекта исследования были выбраны частицы хлорида аммония NH_4Cl , которые возгоняются при температуре 338°C , а плавятся при 520°C . Существенно, что соли аммония термически неустойчивы и при нагревании обратимо разлагаются на аммиак и хлороводород [3]. Данные компоненты практически не вступают в реакцию с воздухом и вновь соединяются при конденсации.

Для проведения опытов были получены порошки из частиц различных размеров путем просеивания на специальных ситах. Основные параметры порошков приведены в таблице. Аэрозольное облако из первичных частиц порошка создавалось с помощью серийного ультразвукового диспергатора УЗДН-2Т. Сфокусированный пучок CO_2 -лазера и соосный с ним зондирующий луч гелий-неонового лазера проходили сквозь аэрозольное облако в горизонтальной плоскости. Подбрасываемые диспергатором частицы находились в области взаимодействия по оценкам в течение приблизительно 5 мс. Зондирующий луч гелий-неонового лазера пластиной из CsJ направлялся на фотоэлектронный умножитель, а для отсекания излучения CO_2 -лазера использовался интерференционный светофильтр с максимумом пропускания на длине волны, равной $0,63 \text{ мкм}$. Сигнал с ФЭУ регистрировался запоминающим осциллографом. Время срабатывания электромагнитного затвора непрерывного CO_2 -лазера типа «КИПР» (максимальная мощность излучения 1 кВт) составляло 20 мс . Интенсивность воздействующего пучка I изменялась от $5,2 \cdot 10^6$ до $2,6 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ путем разъюстировки одного из зеркал резонатора.

Средний радиус \bar{R} , мкм	Степень монодисперсности α
24	0,51
48	0,12
80	0,24
107	0,16
132	0,13

Эксперименты проводились при нормальных атмосферных условиях. Типичная осциллограмма, характеризующая динамику прозрачности аэрозоля, приведена на рис. 1, где самое нижнее положение луча осциллографа соответствует нулевому значению оптической толщи τ , а верхняя прямая проведена для $\tau = \infty$. Стрелкой 1 указано начало распыления первичного аэрозоля, стрелкой 2 — начало воздействия мощного лазерного излучения.

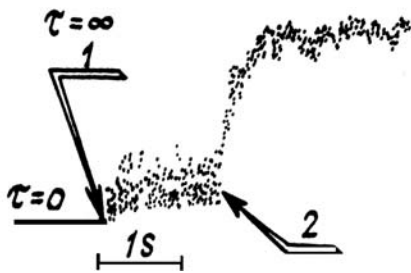


Рис. 1

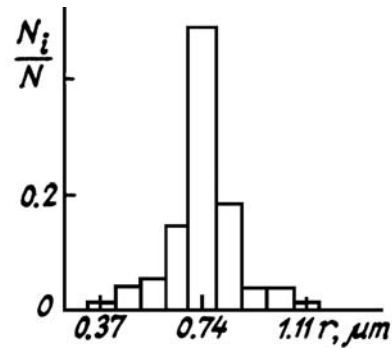


Рис. 2

При действии мощного лазерного излучения на первичные частицы в области взаимодействия всегда появлялось облако вторичных частиц, которое отчетливо наблюдалось визуально. В ходе опытов для статистического анализа вторичные частицы улавливались на специальную подложку, с которой определялся их размер.

Измерения, проведенные с помощью микроскопа, показали, что средний размер вторичных частиц составил $\bar{r} = 0,74$ мкм со среднеквадратической погрешностью распределения частиц по размерам (рис. 2) $\sigma = 0,03$ мкм. Аэрозоль из вторичных частиц является монодисперсным, степень монодисперсности $\alpha \approx 0,042$. Существенно и то, что значение \bar{r} не зависит от размера первичных частиц, по крайней мере, для интервала $24 \text{ мкм} \leq R \leq 132 \text{ мкм}$ при интенсивности воздействующего излучения в диапазоне $5,2 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2 \leq I \leq 2,6 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$.

Высокая степень монодисперсности вторичного аэрозоля указывает на то, что вновь образовавшиеся частицы не являются продуктами фрагментации, а получены в результате конденсации пара при испарении первичных частиц в поле излучения. Анализ возможных механизмов изменения прозрачности дисперсной среды показал, что процесс конденсации является основным.

Для двух различных порошков с размерами $\bar{R} = 80$ и 132 мкм получены пороговые значения I , меньше которых изменение оптической толщи не наблюдалось. Они соответственно составляют $5,4 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$ и $8,4 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$.

В отличие от данных [2], где получено кратковременное просветление аэрозоля сразу после начала воздействия излучения, в наших опытах это не наблюдалось. В названной выше работе исследования проводились с кристалликами льда, которые при нагреве плавятся и стягиваются в капли, увеличивая тем самым прозрачность среды на короткое время, а затем уже эти капли испаряются, возникают перенасыщение и конденсация пара с образованием вторичных частиц.

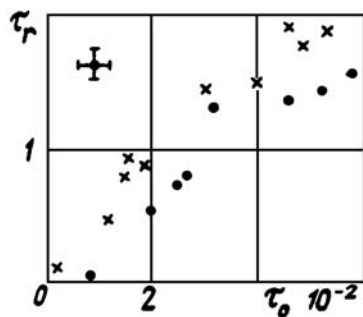


Рис. 3

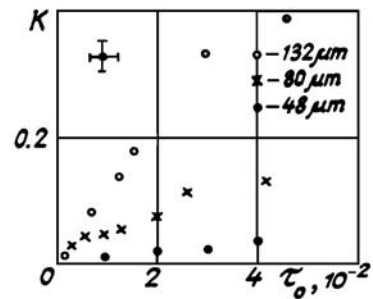


Рис. 4

На рис. 3 приведены зависимости конечной оптической толщи τ_k от начальной τ_0 для исходных частиц с радиусом $R = 132$ мкм при двух различных интенсивностях пучка CO_2 -лазера. Из рисунка видно, что с увеличением как начальной оптической толщи среды, т. е. концентрации частиц, так и значения I увеличивается конечная оптическая толщина τ_k . Это объясняется тем, что при большей концентрации вероятность попадания частиц в область взаимодействия выше, а рост интенсивности приводит к увеличению скорости испарения частиц. Оба этих механизма увеличивают количество пара, который при конденсации образует большее число вторичных частиц.

С целью определения времени полного испарения частицы $t_{\text{исп}}$ были проведены специальные эксперименты. Отдельная частица устанавливалась на подложку из NaCl , которая практически не поглощает излучение с длиной волны $\lambda = 10,6$ мкм, а динамика процесса испарения записывалась скоростной камерой СКС-1М. Эксперименты показали, что для частиц с радиусом $R = 145$ и 261 мкм при интенсивности пучка CO_2 -лазера $I = 5,1 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$ значения $t_{\text{исп}}$ составили соответственно 80 и

120 мс. Как было отмечено выше, при исследовании конденсации в аэрозольном облаке первичная частица находится в области взаимодействия около 5 мс. За это время ее радиус R практически не уменьшится и просветление наблюдаться не будет.

Следовательно, по результатам измерений τ_k и τ_0 можно рассчитать значение объемного коэффициента аэрозольного ослабления κ к вторичными частицами по формуле [4]

$$\kappa = \frac{1}{l} [\tau_k - \tau_0],$$

где l — толщина дисперсной среды.

На рис. 4 приведена зависимость κ от начальной оптической толщины τ_0 при $I = 2,5 \cdot 10^8$ Вт/м² и различных значениях \bar{R} .

Во всех опытах с отдельными частицами наблюдалась сферическая оболочка вокруг частиц с радиусом (10 ... 12) R . На этом расстоянии достигаются условия конденсации и происходит интенсивное образование вторичных частиц. Этот вывод согласуется с результатами теоретической работы [5], где описывается аналогичный механизм конденсации.

В заключение отметим, что отсутствие зависимости размеров вторичных частиц от размеров исследуемого первичного аэрозоля позволяет существенно упростить анализ распространения мощного лазерного излучения через полидисперсный аэрозоль с учетом конденсации.

Авторы благодарны С.П. Истомину за помощь в проведении эксперимента.

1. Кузиковский А.В., Хмелевцов С.С. //Изв. АН СССР. ФАО. 1975. Т. 11. № 4. С. 362.
2. Волковицкий О.А., Денисов В.В., Иванов Е.В., Коломеев М.П. //Тр. ИЭМ. М., 1976. Вып. 13(58). С. 95–107.
3. Глинка Н.Л. Общая химия. Л.: Химия, 1977. 704 с.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики /Пер. с англ. Под ред. Г.П. Мотулевич. М.: Наука, 1973. 720 с.
5. Лямкина Г.В., Шайдук А.М. Взаимодействие мощного лазерного излучения с аэрозолем (межвуз. сб.). Новосибирск: НГУ, 1989. С. 71–79.

Алтайский государственный университет,
Барнаул

Поступила в редакцию
4 июля 1990 г.

V. I. Bukaty, M. Yu. Sverdlov. Experimental Study of the Vapor Condensation Influence on the Solid Aerosol Mission in the Field of the Intense Laser Radiation.

Some experimental results are presented in the paper on measuring the solid aerosol transmission in the field of intense CO₂-laser radiation under the condition when secondary particles appear due to condensation. The dependencies of resultant optical thickness on the initial one, on the size of initial aerosol particles and on the intensity of incident radiation are obtained. In the experiments with the isolated particles it was found that there appears a spherical layer around the particle where the secondary aerosol particles are produced due to condensation. It was also established that the size of secondary particles does not depend upon the size of initial particles as well as on the intensity of incident radiation, at least within the studied range.