

А.А. Землянов, А.М. Кабанов

**СИГНАЛЫ СВЕТОРАССЕЯНИЯ ОТ МОДЕЛЬНОГО ВОДНОГО АЭРОЗОЛЯ, ПОДВЕРГНУТОГО ДЕЙСТВИЮ ИМПУЛЬСОВ ИНТЕНСИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА**

Приводятся результаты экспериментальных исследований сигналов рассеяния лазерной подсветки с длиной волны 0,49 мкм от водно-капельной среды различного дисперсного состава в условиях взрывного разрушения частиц, инициированного воздействием импульса СО<sub>2</sub>-лазера.

Установлено существование зависимости сигналов рассеяния от плотности энергии силового пучка и микроструктуры аэрозоля.

В статье приведены результаты экспериментального изучения сигналов рассеяния видимого излучения в направлении, близком к обратному, от водно-капельной среды, облученной импульсами интенсивного СО<sub>2</sub>-лазера. Целью экспериментов являлось установление характера влияния дисперсного состава аэрозоля и энергии воздействующего импульса на структуру рассеянного сигнала. Исследования имеют значения для задач разработки новых методов диагностики дисперсных сред с использованием высокоэнергетических лазеров [1–2], а также изучения особенностей протекания термодинамических процессов в веществе в перегретом состоянии [3–5].

Эксперимент включал в себя моделирование аэрозольной среды различной микроструктуры и измерение сигнала рассеянного излучения при различных энергиях воздействия, обеспечивающих взрывной режим разрушения аэрозольных частиц. В качестве модельного аэрозоля использовался водный аэрозоль со следующим распределением частиц по размерам: монодисперсный аэрозоль со среднеквадратичным радиусом частиц  $\bar{a}_0 = 2,7$  мкм, вырабатываемый ультразвуковым генератором [6], полидисперсный аэрозоль аппроксимируемый гамма-распределением с параметрами  $a_m = 4$  мкм,  $\mu = 1$  и  $a_m = 10$  мкм,  $\mu = 1,21$ , вырабатываемый распылительной форсункой. Контроль распределения размеров производился методом забора проб и обработки микрофотосъемки. Дисперсный состав аэрозоля выбирался так, чтобы в механизме формирования сигнала рассеяния участвовали: 1) только однородно поглощающие частицы с  $\alpha_p a_0 < 1$ , где  $\alpha_p$  — коэффициент объемного поглощения, или 2) аэрозоль с различным вкладом неоднородно поглощающих крупных частиц с  $\alpha_p a_0 > 1$  [7]. Аэрозоль подавался в область взаимодействия в виде струи, диаметром  $\leq 2 \cdot 10^{-2}$  м, направленной перпендикулярно к распространению лазерного излучения. Поперечный размер аэрозольной среды не превышал размер каустики сфокусированного воздействующего излучения ( $f = 6 \cdot 10^{-1}$  м), прозрачность среды для длины волны воздействующего излучения составляла ~90%, что позволяет предположить однородность плотности энергии по длине трассы и в поперечном сечении области взаимодействия.

В качестве источника воздействующего излучения, инициирующего взрыв частиц аэрозоля, использовался импульсный СО<sub>2</sub>-лазер с  $\lambda = 10,6$  мкм, длительностью импульса  $t_{\text{и}} \sim 3$  мкс и плотностью энергии в фокусе, варьируемой в пределах 1–20 Дж/см<sup>2</sup>. Рассеянный сигнал принимался под углом 172° на длине волны зондирующего излучения  $\lambda = 0,49$  мкм, направленного в область взаимодействия соосно с воздействующим. Диаметр зондирующего пучка  $\sim 2 \cdot 10^{-3}$  м, диаметр воздействующего пучка в области фокуса  $\sim 4 \cdot 10^{-3}$  м. Зондирующий пучок вырезал в сечении воздействующего излучения область гладкого (квазиоднородного) распределения энергии. Источник зондирующего излучения — непрерывный аргоновый лазер ЛГН-503 мощностью 1 Вт.

Временной ход сигнала рассеяния на длине волны  $\lambda = 0,49$  мкм, обусловленного взрывным вскипанием частиц аэрозоля в поле СО<sub>2</sub>-лазера при различных энергиях воздействия, представлен на рис. 1 (начальное распределение частиц аэрозоля соответствует  $a_m = 4$  мкм,  $\mu = 1$ ).

Можно выделить несколько характерных уровней, содержащихся в сигнале рассеяния: начальный уровень рассеяния  $A_0$  (линейный случай), уровень максимального увеличения сигнала рассеяния  $A_m$ , связанный непосредственно со взрывом частиц аэрозоля, и конечный уровень рассеяния  $A_k$ , устанавливающийся после прохождения импульса и отражающий рассеивающие свойства вторичной аэрозольной среды. Можно также выделить характерное время  $t_{\text{м.р}}$  формирования максимального рассеяния среды.

На рис. 2 представлена зависимость  $A_m$  от плотности энергии воздействующего импульса для различного по дисперсному составу аэрозоля. Видно, что замутнение среды, связанное непосредственно со взрывом аэрозольных частиц, для крупнокапельного аэрозоля (кривая 2) возрастает с увеличением энергии облучения. Это объясняется тем, что с ростом поглощаемой в аэрозолях энергии происходит разогрев до температуры взрывного вскипания слоев, более глубоких, чем  $\alpha_p^{-1}$ , и в ре-

зультате большая масса крупной частицы переходит в мелкодисперсную фракцию, что существенно замутняет среду и соответственно приводит к росту сигнала рассеяния в направлении назад. В случае более мелкодисперсного аэрозоля (кривая 1) плотности энергии  $\sim 6-8$  Дж/см<sup>2</sup> достаточно для полной фрагментации частиц, и при дальнейшем увеличении энергии сигнал рассеяния падает за счет увеличения степени испарения при взрыве. Этим же объясняется и насыщение в ходе кривой 1.

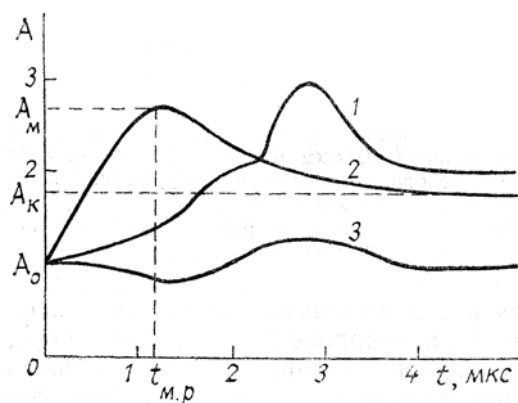


Рис. 1. Временной ход сигнала рассеяния на длине волны  $\lambda = 0,49$  мкм: 1—4 Дж/см<sup>2</sup>; 2—17 Дж/см<sup>2</sup>; 3—2 Дж/см<sup>2</sup>

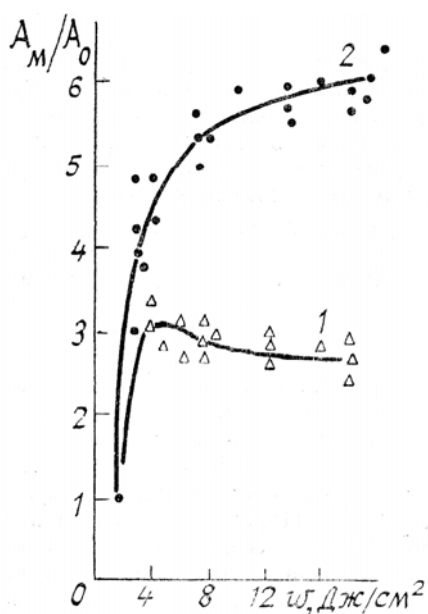


Рис. 2. Зависимость уровня максимального увеличения рассеянного сигнала ( $\lambda = 0,49$  мкм) от плотности энергии импульса CO<sub>2</sub>-лазера: 1 — полидисперсный аэрозоль, аппроксимируемый гамма-распределением с параметрами  $a_m = 4$  мкм,  $\mu = 1$ ; 2 —  $a_m = 10$  мкм,  $\mu = 1,21$

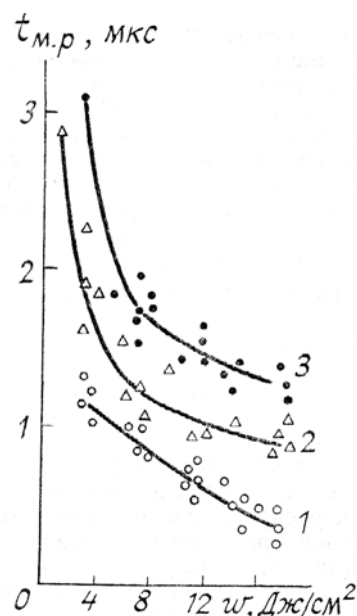


Рис. 3. Зависимость времени выхода на уровень максимального увеличения сигнала рассеяния от плотности энергии импульса CO<sub>2</sub>-лазера: 1 — монодисперсный аэрозоль  $\bar{a} = 2,7$  мкм; 2 — полидисперсный аэрозоль, аппроксимируемый гамма-распределением с параметрами  $a_m = 4$  мкм,  $\mu = 1$ ; 3 —  $a_m = 10$  мкм,  $\mu = 1,21$

На рис. 3 представлена зависимость от плотности лазерной энергии временного положения точки перегиба  $t_{м.р}$  в сигнале рассеяния для трех типов аэрозоля. Для мелкодисперсного аэрозоля (кривая 1) увеличение энергии воздействующего импульса, начиная с пороговой, до 20 Дж/см<sup>2</sup>, приводит к сокращению временного интервала выхода сигнала рассеяния на максимальный уровень с 1,2 мкс до 0,3 мкс, что связано с увеличением скорости закачки энергии в каплю, повышением взрывной степени испарения и более эффективным испарением осколков хвостом импульса за счет его возросшей энергоемкости. Крупная фракция аэрозоля затягивает интервал  $t_{м.р}$  (кривые 2 и 3) в сравнении с мелкодисперсным однородно поглощающим аэрозолем, поскольку для полного разрушения крупных неоднородно поглощающих частиц требуется больше энергии; кроме того, взрыв слоев, удаленных от поверхности частицы приводит к увеличению времени разлета продуктов взрыва.

Рис. 4 иллюстрирует рассеивающие свойства вторичной (образовавшейся после взрыва и испарения) аэрозольной среды. Для мелкодисперсного аэрозоля (кривая 1) увеличение энерговклада одно-

значно приводит к снижению рассеивающих свойств продуктов взрыва. Разогрев всего объема однородно поглощающих частиц при достижении пороговой энергии приводит к их полному разрушению уже в начале импульса. Активное испарение осколков хвостом импульса приводит к дополнительному увеличению степени испарения и уменьшению водности вторичной среды. Для крупнокапельного аэрозоля тенденция к уменьшению начинается только при достижении энергии, достаточной для полного разрушения крупных частиц. Сравнение с данными [8] о поглощенной энергии, необходимой для полного разрушения частиц, позволяет сделать вывод, что в сигнале рассеяния от взрывающегося полидисперсного аэрозоля изменение характера зависимости от воздействующей энергии уровней максимального и конечного рассеяния  $A_m$  и  $A_k$  связано с полным разрушением наиболее крупной фракции частиц.

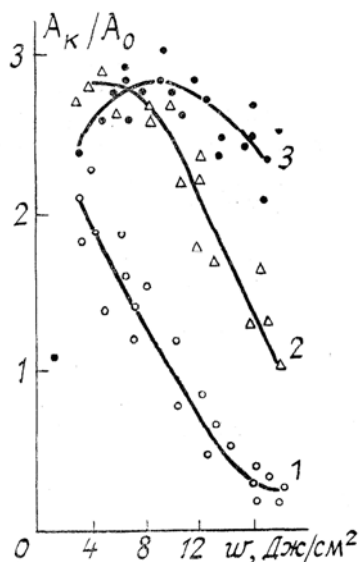


Рис. 4. Зависимость уровня сигнала рассеяния после взрыва частиц от плотности энергии импульса  $\text{CO}_2$ -лазера: 1 — монодисперсный аэрозоль  $\bar{a} = 2,7$  мкм; 2 — полидисперсный аэрозоль, аппроксимированный гамма-распределением с параметрами  $a_m = 4$  мкм,  $\mu = 1$ ; 3 —  $a_m = 10$  мкм,  $\mu = 1,21$

Таким образом, в работе экспериментально установлено существование зависимости сигналов рассеяния лазерной подсветки зоны взаимодействия интенсивного излучения с  $\lambda = 10,6$  мкм с водным аэрозолем от плотности энергии силового пучка в локальной области среды, а также от микроструктуры аэрозоля, находящегося в области пучка.

1. Бочкарев Н.Н., Гейнц Ю.Э., Землянов А.А. и др. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 10. С. 111–112.
2. Кузиковский А.В., Чистякова Л.К., Коханов В.И. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 10. С. 2090–2096.
3. Зуев В.Е., Землянов А.А. // Известия вузов. Физика. 1983. Т. 25. № 2. С. 53–66.
4. Гейнц Ю.Э., Землянов А.А., Погодаев В.А., Рождественский А.Е. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 3. С. 27–34.
5. Pinnick R.G., Biswas A., Armstrong R.L. et al. // Appl. Optics. 1990. V. 29. № 7. P. 918–925.
6. Погодаев В.А., Рождественский А.Е. // II Совещание по атмосферной оптике (Тезисы докл.). Томск: Изд. ТФ СО АН СССР. 1980. С. 7–9.
7. Пришивалко А.П. Оптические и тепловые поля внутри светорассеивающих частиц. Минск: Наука и техника, 1983. 190 с.
8. Зуев В.Е., Землянов А.А., Копытин Ю.Д. Нелинейная оптика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 253 с.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,  
Томск

Поступила редакцию  
28 февраля 1991 г.

A. A. Zemlyanov, A. M. Kabanov. **Light Scattering Signals from a Model Water Droplet Aerosol Preirradiated by High Power  $\text{CO}_2$ -Laser Radiation Pulses.**

Some results of the experiments on scattering of the laser radiation (at  $\lambda = 0.49 \mu\text{m}$ ) from water droplet media of different size spectra under the conditions of explosive droplet destruction initiated by  $\text{CO}_2$ -laser radiation pulses are presented.

It was found that light scattering signals are dependent on the energy density of the  $\text{CO}_2$ -laser pulse and on the aerosol microstructure as well.