

К.П. Бурнейка, В.Н. Добрыгин, Г.И. Йонушаускас, А.С. Пискаркас, В.И. Смильгвичюс

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТА В РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Представлены описание методики измерения и результаты экспериментальных исследований пространственно-временной и угловой структуры узкого пучка пикосекундных импульсов света длительностью $t_0 \approx 10$ пс, прошедших конечную толщину рассеивающей среды. Обсуждается искажение формы импульса, распределение пиковой интенсивности и запаздывание ее прихода для различных углов в поперечном смещении относительно оси пучка.

Исследование прохождения и отражения от толщи рассеивающей среды узконаправленного пучка пикосекундных импульсов света представляет интерес в связи с решением задач лазерного зондирования плотных гидрометеообразований — облаков, туманов, дождей и т.д. Это обусловлено тем, что информацию о свойствах таких сред можно получить в случае, когда длительность провозимодействовавшего со средой импульса света значительно больше длительности исходного, т.е. при $t_0 \ll 1/\epsilon c$, где t_0 — длительность исходного импульса; ϵ — показатель ослабления среды; c — скорость света в ней [1].

Для прогнозирования закономерностей распространения пикосекундных импульсов света в реальных рассеивающих средах, которые в основном неоднородны, т.к. в них практически невозможно знать точное распределение частиц по размерам и плотности, представляется актуальным проведение эксперимента на модельных средах с заранее известными параметрами. Так, в работах [2–3] приводятся экспериментальные результаты распространения пикосекундных импульсов света длительностью $t_0 = 20$ пс в водных суспензиях однородных латексных микросфер. Для проходящего через среду излучения исследовалась трансформация формы импульса и запаздывание пиковой интенсивности лишь в коаксиальной области пучка. Особый интерес представляет информация о пространственно-временной и угловой структуре узкого пучка пикосекундных импульсов света, прошедших конечную толщину рассеивающей среды. В настоящей работе приводятся описание методики и экспериментальные результаты исследования трансформации формы пикосекундного импульса длительностью $t_0 \approx 10$ пс, прошедшего рассеивающую среду, распределения пиковой интенсивности и времени запаздывания её прибытия в зависимости от поперечного смещения относительно оси пучка.

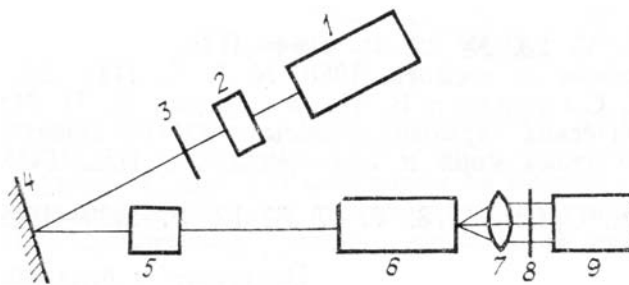


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Лазер 1 на бериллате лантана, легированного неодимом ($\text{BeLaO}_5: \text{Nd}$), генерировал пуч из 7–10 импульсов на длине волны излучения $\lambda = 1,07$ мкм. Частота излучения удваивалась в генераторе второй гармоники на нелинейном кристалле KDP 2 ($\lambda = 0,535$ мкм, средняя длительность одиночного импульса $t_0 = 10$ пс). Для «отсечки» излучения с $\lambda = 1,07$ мкм использовался фильтр 3 типа СЗС–21. Излучение второй гармоники отражалось от зеркала 4 и поступало на коллиматор 5 пучка. Коллимированный пучок света диаметром 2 мм подавался на кювету 6 с рассеивающей средой. Излучение, прошедшее рассеивающую среду, через объектив «Юпитер–9» 7 проектировалось на входную щель электронно-оптической камеры «Агат–СФЗ» 9. Диаметр входной апертуры объектива равен 42 мм, апертурный угол 42° . С целью увеличения пределов регистрации угловой структуры рассеянного излучения, щель камеры поступательно перемещалась ортогонально оси выходного пучка излучения. Для выбора режима почернения пленки в линейной области перед щелью устанавливались нейтральные светофильтры 8. При регистрации параметров предполагалась осевая симметрия структуры поля относительно оси исходного пучка света.

Рассеивающая среда — водная суспензия полистироловых латексных микросфер с параметром дифракции $\rho = 1,05$ ($\rho = 2\pi n_b/\lambda$) и относительным показателем преломления $m = 1,2$. Среда считалась абсолютно рассеивающей — вероятность выживания фотонов $\Lambda = 1$. Пропускаемость среды измерялась на спектрофотометре СФ-46. Растворы разной плотности помещались в цилиндрическую кювету длиной 12 мм и диаметром 83 мм.

На рис. 2 представлены усредненные денситограммы формы импульса и интенсивности как в коаксиальной области пучка, так и при различных углах α прихода рассеянного излучения на приемную апертуру в поперечном смещении относительно оси пучка. За α принимался угол, образованный направляющей рассеянного излучения из точки пересечения оси пучка с плоскостью выходного торца кюветы и осью пучка. Разрешение по углу, определяемое выбранным размером диафрагмы (1 мм) при микрофотометрировании, составляло $\sim 3,5^\circ$. Бралось среднее значение угла α . По оси абсцисс на рис. 2 отложено время в пикосекундах, где $t = 0$ соответствует времени достижения пиковой интенсивности в импульсе на оси пучка. По оси ординат отложено значение логарифма интенсивности в условных единицах. Оптическая толщина среды равна $\tau = 3,6$. Задержка максимума интенсивности для излучения, приходящего под углом $\alpha_2 = 18^\circ$ к оси пучка, составила $\Delta t_1 = 7$ пс, для угла 28° соответственно $\Delta t_2 = 14$ пс. В пределах погрешности измерения $\delta t = \pm 2$ пс уширение формы импульса для угла $\alpha_3 = 28^\circ$ и одним и тем же $\tau = 3,6$ в 1,5–2 раза больше, чем на оси пучка. С увеличением угла α уменьшается крутизна спада импульсов. Фронт практически не изменяется.

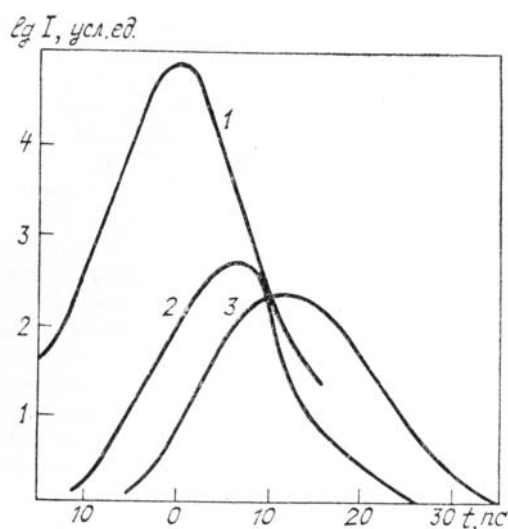


Рис. 2. Денситограммы формы импульса и интенсивности в зависимости от поперечного смещения относительно оси пучка: 1 — $\alpha_1 = 0^\circ$, 2 — $\alpha_2 = 18^\circ$, 3 — $\alpha_3 = 28^\circ$. Оптическая толщина рассеивающей среды $\tau = 3,6$

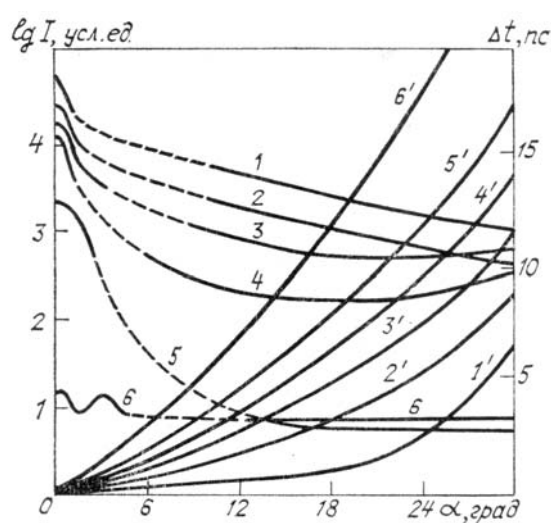


Рис. 3. Распределение пиковой интенсивности (левая шкала) и запаздывания ее прибытия (правая шкала) в зависимости от угла α для различных оптических толщин среды: 1, 1' — $\tau_1 = 0,9$; 2, 2' — $\tau_2 = 1,35$; 3, 3' — $\tau_3 = 1,8$; 4, 4' — $\tau_4 = 3,6$; 5, 5' — $\tau_5 = 7,2$; 6, 6' — $\tau_6 = 14,4$

На рис. 3 представлены распределения пиковой интенсивности (кривые 1–6) и запаздывания времени ее прибытия (кривые 1'–6') в зависимости от угла α , при разных оптических толщинах среды. По оси абсцисс отложен угол α , по левой оси ординат — логарифм интенсивности в условных единицах, по правой — время запаздывания прихода максимума сигнала относительно максимума на оси пучка. С увеличением оптической толщины среды τ происходит постепенное радиальное размытие центрального пучка, обусловленное увеличением многократного рассеяния. При $\tau_6 = 14,4$ (начало кривой 6, рис. 3) в коаксиальной области центрального пучка наблюдается образование второго максимума интенсивности, расположенного под углом $\alpha \approx 3-4^\circ$ относительно оси центрального пучка. Его образование можно объяснить увеличением интенсивности однократно рассеянного излучения в области малых углов α , наряду с уменьшением интенсивности в центральной части пучка. Распределение пиковой интенсивности для малых оптических толщин ($\tau \leq 1,5$) плавно убывает в периферийной части угловой структуры рассеянного излучения с увеличением угла α , а с возрастанием роли многократного рассеяния ($\tau \geq 1,5$), с увеличением угла α , даже несколько возрастает (5–10% при $\alpha = 28^\circ$). Штриховая часть кривых 1–6 обозначает область влияния края светофильтра, устанавливаемого для расширения пределов измерения интенсивности. С увеличением угла α увеличивается задержка прихода максимума излучения (кривые 1'–6' рис. 3). Это обусловлено, с одной стороны, увеличением геометрического пути рассеянных фотонов, а с другой — задержкой за счет увеличения кратности рассеяния.

Таким образом, в работе показано, что данная методика позволяет регистрировать трансформацию формы пикосекундного импульса света, распространяющегося в рассеивающей среде, и получать информацию о пространственно-временной и угловой структуре рассеянного излучения за один акт измерения.

1. Иванов А. П. // Проблемы современной оптики и спектроскопии. Минск: Наука и техника, 1980. С. 42—56.
2. Kuga Yasuo, Ishimaru Akira, Bruckner Adam P. // J. Opt. Soc. Am. 1983. V. 73. № 12. P. 1812.
3. Shimizu Koichi, Ishimaru Akira, Reynolds Larry, Bruckner Adam P. // Appl. Opt. 1979. V. 18. № 20. P. 3484.

Вильнюсский госуниверситет
им. В. Капсукаса

Поступило в редакцию
10 января 1989 г.

K.P. Burneika, V.N. Dobrigin, G.I. Jonushauskas, A.S. Piskarskas,
V.I. Smilgavichus. **The Investigation of Picosecond Pulse Propagation in a Scattering Media.**

The method of measuring and data of experiments on investigations of space and time and angular distribution of picosecond light pulses $t_0 = 10$ ps being scattered into the media of limited length are presented. Pulse shape transformation, spike intensity distribution and pulse delay angular distribution are discussed.