

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В.В. Вергун, М.В. Кабанов, Г.П. Коханенко, В.А. Крутиков

РАЗМЫТИЕ И ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРОХОДЯЩЕГО ОПТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА НА БОЛЬШИХ ОПТИЧЕСКИХ ГЛУБИНАХ В РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Проведено экспериментальное исследование искажения временной формы поляризационных компонент оптического импульса, прошедшего слой рассеивающей среды большой оптической толщины. Вплоть до значений $\tau = 70$ наблюдаются отличия в форме импульсов для различных поляризационных компонент. Диффузионное приближение удовлетворительно описывает наблюдаемую зависимость полуширины импульса от τ только для деполаризованной компоненты интенсивности. Для компоненты, сохраняющей первоначальную поляризацию, необходимо введение зависимости параметра диффузии от оптической глубины среды.

Аналитическое описание или численный расчет формы проходящего оптического импульса на больших оптических глубинах в рассеивающей среде, когда необходим учет многократного рассеяния, представляет собой достаточно сложную задачу. Если до оптических глубин $\tau = 10-20$ для расчета характеристик импульса можно воспользоваться численными методами (например, методом Монте-Карло), то для больших глубин имеются только приближенные методы оценок, основанные на решении нестационарного уравнения переноса излучения с требующими экспериментальной проверки допущениями. К числу наиболее эффективных на больших оптических глубинах приближенных методов относится диффузионное приближение.

Используя предположение о достаточной изотропности поля рассеянной радиации на большой оптической глубине, диффузионное приближение в общем случае предсказывает (при постоянной длине трассы Z) линейный рост полуширины размытого импульса Δt с увеличением τ . Так, в работе [1] с использованием асимптотического разложения для больших τ получено соотношение для среднеквадратического разброса времени прилета фотонов в виде

$$\sqrt{\langle \Delta t^2 \rangle} = \frac{t_d}{\sqrt{90}} \approx \frac{t_0}{10} \cdot \eta \tau, \quad (1)$$

где $t_0 = Z/c$; t_d — время диффузии фотонов; параметр η в (1) однозначно связан с индикатрисой рассеяния среды, т. е. в диффузионном приближении не зависит от τ . Анализ размытия импульса для узкого мононаправленного оптического пучка [2], а также изучение искажения импульса в рамках малоуглового диффузионного приближения [3], справедливого для меньших оптических глубин, приводят к аналогичной зависимости расширения импульса от τ .

Экспериментальная проверка формул диффузионного приближения была осуществлена в большой аэрозольной камере ИОА СО АН СССР, имеющей объем 1800 м^3 . В качестве рассеивающей среды использовался адиабатический туман, который создавался в камере путем сброса избыточного давления. По результатам нефелометрических измерений рассеивающие характеристики тумана были близки к модельным для облака С1 Дейрменджана [4]. Источником излучения оптических импульсов длительностью 4 нс и частотой повторения 5 кГц служил лазер на парах меди с длиной волны излучения 0,51 мкм. Прием и регистрация импульсного излучения осуществлялись с помощью поляризационного фотометра, имевшего полный угол зрения 4° и обеспечивавшего динамический диапазон по амплитуде поляризационных компонент в три порядка при временном разрешении 2 нс. Фотометр располагался внутри камеры на расстоянии 20 м от входного окна. Входящее излучение было линейно поляризовано, поляризационные компоненты прошедшего импульса выделялись с помощью поляроидов. Коэффициент ослабления тумана измерялся непрерывно по ослаблению интенсивности лазерного излучения с $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ на трассе длиной 1 м внутри камеры. Более подробное описание узлов и схемы эксперимента содержится в [5].

На рис. 1 представлены результаты измерения формы импульса для двух взаимно перпендикулярных поляризованных компонент интенсивности излучения на различных оптических глубинах. По оси абсцисс наряду со шкалой времени в наносекундах отложено безразмерное время $U = \sigma ct$, где σ — коэффициент рассеяния; c — скорость света. Приведенные кривые зарегистрированы стробоскопическим осциллографом и представляют результат усреднения по 10^3 импульсам. Как видно из рисунка, на всех оптических глубинах параллельная компонента интенсивности I_{\parallel} по величине превышает перпендикулярную I_{\perp} (штриховые кривые), а максимум импульса для I_{\parallel} имеет меньшую задержку по сравнению с таковым для I_{\perp} . Важный результат,

который следует из приведенных на рис. 1 данных, состоит в том, что амплитуда обеих компонент интенсивности становится одинаковой (интенсивность импульса становится полностью деполаризованной) только при больших временах $U \approx 25$. Передний же фронт проходящего импульса даже на больших глубинах сохраняет заметную исходную поляризацию.

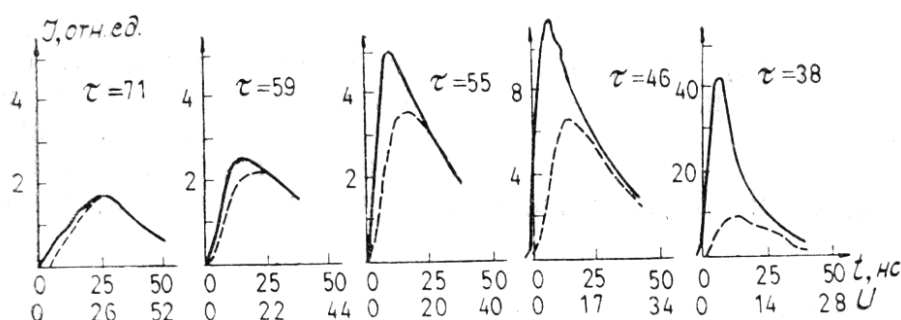


Рис. 1. Форма поляризационных компонент интенсивности импульса на различных глубинах

На рис. 2 представлены результаты измерений полуширины проходящих импульсов в зависимости от оптической глубины. Как видно из рисунка, только для перпендикулярно поляризованной компоненты I_{\perp} полуширина размытого импульса растет линейно с оптической глубиной, как это и предсказывается формулой диффузионного приближения (1). Для компоненты I_{\parallel} , соответствующая зависимость имеет нелинейный вид. В пределах ошибок измерений ($\pm 1,5$ нс по Δt и ± 2 нс по τ) удается аппроксимировать зависимость параметра η в виде

$$\eta = \begin{cases} (3 - x_1)/4 & \text{для } J_{\perp}, \tau > 10 \\ \frac{(3 - x_1)}{300} \tau & \text{для } J_{\parallel}, \tau > 20, \end{cases} \quad (2)$$

где $x_1 = 2,58$ — первый коэффициент в разложении индикатрисы по полиномам Лежандра. Как показывают расчеты в малоугловом диффузионном приближении, а также численные расчеты методом Монте-Карло [6], для I_{\parallel} , при $\tau < 15$ зависимость полуширины импульса от τ также описывается формулой (2), но с иным (на порядок меньшим) коэффициентом пропорциональности при τ .

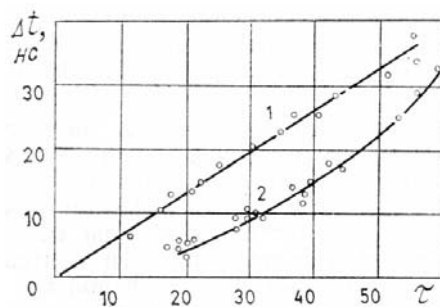


Рис. 2. Зависимость полуширины импульса излучения от оптической глубины для перпендикулярной (1) и параллельной (2) поляризационных компонент интенсивности

Таким образом, результаты измерений показывают, что форма размытого импульса и зависимость полуширины от оптической глубины отличаются для взаимно перпендикулярных компонент интенсивности. Диффузионное приближение удовлетворительно описывает зависимость Δt для I_{\perp} начиная с малых τ . Эта же зависимость для I_{\parallel} , а также соотношение амплитуд поляризованных компонент при $\tau \geq 30$ могут быть описаны диффузионным приближением только при соответствующем выборе параметра τ). Физическую интерпретацию полученных результатов следует связывать с разной изотропностью поля рассеянной радиации для разных компонент интенсивности. Представляется естественной лучшей выполнимость условия достаточной изотропности поля многократно рассеянного излучения для перпендикулярной компоненты. В отличие от параллельной компоненты для перпендикулярной полностью отсутствует вклад однократно рассеянного вперед излучения, имеющего для сферических частиц одинаковую с падающим излучением поляризацию.

1. Иванов В. В., Гутшабаш С. Д. Распространение волны яркости в оптически толстой атмосфере. — Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, т. 10 № 8, 1974, с. 851—863.
2. Ito S. Theory of beam light pulse propagation through thick clouds — Appl. Opt., 1981, v. 20, p. 2706—2715.
3. Долин Л. С. Автомоделное приближение в теории многократного сильно анизотропного рассеяния света. — Докл. АН СССР, 1981, т. 260, № 6, с. 1344—1347.
4. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. — М.: Мир, 1971. — 165 с.
5. Вергун В. В., Кириллов А. Е., Коханенко Г. П., Кругляков В. Л., Крутиков В. А. Применение ОКГ на парах меди для наблюдения временных искажений рассеянного излучения. — Ред. ж. Изв. вузов, Физика, Деп. № 2568—В86 г.
6. Вергун В. В., Коханенко Г. П., Крутиков В. А. К теории расчета импульсных переходных функций в малоугловом диффузионном приближении. — Ред. ж. Изв. вузов, сер. Физика, Деп. № 1481—В86 г.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, Томск

Поступило в редакцию
28 октября 1987 г.

V.V. Vergun, M.V. Kabanov, G.P. Kokhanenko, V.A. Krutikov. **Blurring and Depolarization of a Transmitted Optical Pulse at Large Optical Depths in Scattering Medium.**

Experimental study of distortion of temporal shape of optical pulse polarization components transmitted through the layer of scattering medium with large optical depth has been carried out. Up to the values $\tau = 70$ the differences are observed in the pulse form for various polarization components. Diffusion approach describes satisfactory the observed dependence of pulse half-width on τ only for a depolarized intensity component. For the component maintaining the initial polarization it is necessary to introduce the dependence of diffusion parameter on optical depth of the medium.