

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ ЧЕРЕЗ РЕФРАКЦИОННЫЙ АКСИКОН

Метерко А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Аннотация

Проведено моделирование прохождения гауссовых импульсных лазерных пучков через рефракционный аксикон методом FDTD в цилиндрических координатах. Изучены характеристики сфокусированных аксиконом пучков при различных параметрах входного поля.

Ключевые слова: гауссов импульс, FDTD, Меер, рефракционный аксикон.

Исследования острой фокусировки привели к обнаружению возможности уменьшения фокального пятна при использовании радиально-поляризованной гауссовой моды, проходящей через аксикон [1 – 3]. Было показано уменьшение диаметра фокального пятна по уровню полуспада интенсивности (FWHM) до величины $0,35\lambda$.

В связи с этими исследованиями, а также статьями о возможностях коротких и ультракоротких импульсов, изучение данной темы становится актуальным при решении задач острой фокусировки.

В 1970 году была продемонстрирована оптическая ловушка, использующая постоянный сигнал (continuous wave, CW). Однако недавно было показано [4], что при использовании гауссова импульса можно добиться лучших результатов при генерации оптических ловушек. Так как эта тема в настоящее время является актуальной [5], то стоит подробнее остановиться на рассмотрении гауссовых импульсов, их характеристик и распространении, что и было сделано ниже.

В данной работе рассматривается прохождение гауссовых пучков разной длительности через рефракционный аксикон.

Для моделирования данной задачи используется программный продукт “Меер”, реализующий вычисления по методу FDTD (метод конечных разностей во временной области). С целью уменьшения вычислительной мощности задачи все вычисления производятся в цилиндрической системе координат, что позволяет обойтись без использования высокопроизводительной системы.

Рассмотрим параметры моделируемого поля и области. В качестве входного поля используется плоская волна с гауссовым распределением во временной области. Длина волны $\lambda = 1$ мкм. При этом запускаемые пучки имеют разную длительность, параметр σ принимает значения 2λ , 20λ и 200λ . Аксикон имеет форму конуса с радиусом 6λ и высотой 6λ .

Область моделирования имеет следующие размеры: $r \in [0; 18\lambda]$, $z \in [-17\lambda; 17\lambda]$. По краям области размещён PML (абсолютно поглощающий слой) толщиной 2λ . Шаг дискретизации по пространству равен $\lambda/20$, по времени – $\lambda/(40c)$, где c – скорость света. Материал аксикона – стекло с показателем преломления 1,46.

Далее приведены результаты моделирования указанных пучков: их продольные сечения и график интенсивности поля при фиксированной плоскости z . Параметры были замерены в момент, когда величина суммарной интенсивности электрических компонент поля была максимальной. Для самого короткого пучка ($\sigma = 2\lambda$) это время составило 22 периода распространения, для пучка средней длительности ($\sigma = 20\lambda$) – 100 периодов, для длинного пучка ($\sigma = 200\lambda$) – 1000 периодов.

Картини распространения для пучков длительностью 20λ и 200λ в заданные моменты времени оказались похожими, поэтому на рис. 1 приведены продольные распределения более короткого пучка:

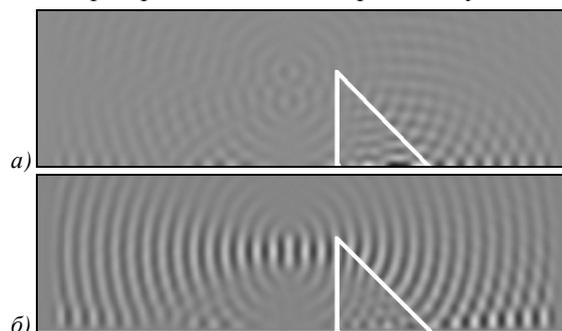


Рис. 1. Продольное распределение для сигнала длительностью 20λ : компонента E_z (а) и компонента E_r (б)

На рис. 1 осью абсцисс является ось распространения z , а осью ординат – радиальная ось r .

Также были получены нормированные графики суммарной интенсивности в плоскости, находящейся на расстоянии 4λ от аксикона (рис. 2) для сигналов длительностью 20λ и 200λ . Заметно некоторое различие в распределении интенсивности в периферийной зоне, однако в центральной части формируется примерно одинаковое кольцо, которое состоит в основном из E_r -компоненты. Заметим, что данное распределение является полученным в некоторый момент времени, и не является усредненным по времени.

Далее рассмотрим картину распространения короткого пучка, длительностью 2λ . Продольное распределение можно увидеть на рис. 3.

Отличие картин этого пучка от предыдущих состоит в том, что картина снимается уже после отключения пучка, когда сгенерированные им волны продолжают распространение в аксиконе и фокусируются за его пределами.

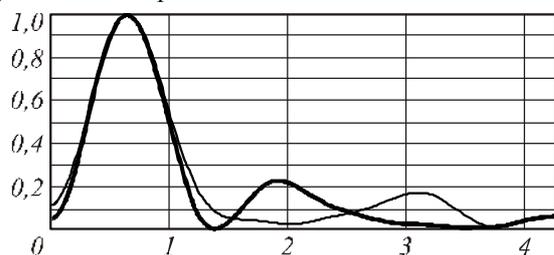


Рис. 2. Поперечное распределение интенсивности для сигналов длительностью 20λ (жирная линия) и 200λ (тонкая линия).

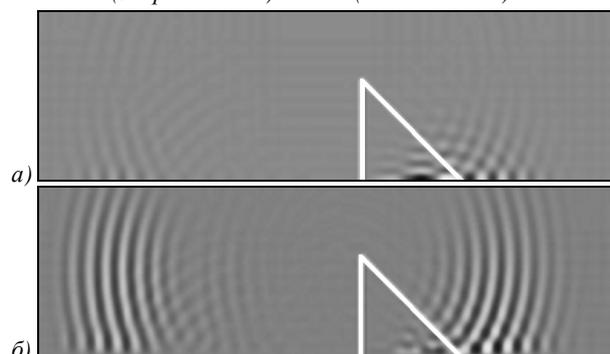


Рис. 3. Продольное распределение для сигнала длительностью 2λ : компонента E_z (а) и компонента E_r (б)

На рис. 4 приведено поперечное распределение суммарной интенсивности.

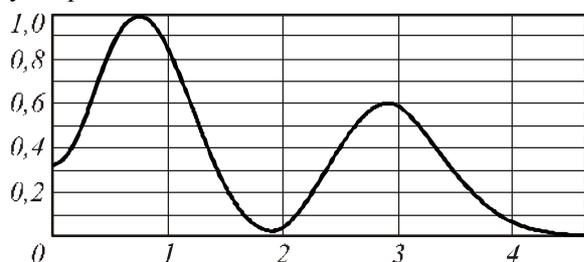


Рис. 4. Поперечное распределение интенсивности для сигнала длительностью 2λ

Результаты показывают различие между генерируемыми пучками в зависимости от их длительности. Для дальнейшего их изучения требуется более детальное моделирование.

Литература

1. **Котляр, В.В.** Острая фокусировка света радиальной поляризации с помощью микролинз / В.В. Котляр, А.А. Ковалёв, С.С. Стафеев // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 2. – С. 155-167.
2. **Котляр, В.В.** Моделирование острой фокусировки радиально-поляризованной лазерной моды с помощью конического и бинарного микроаксиконов / В.В. Котляр, С.С. Стафеев // Компьютерная оптика. – 2009. – Т. 33, № 1. – С. 52-60.
3. **Kotlyar, V.V.** Sharp focus area of radially-polarized gaussian beam propagation through an axicon / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, S.S. Stafeev // Progress in Electromagnetics Research C. – 2008. – V. 5. – P. 35-43.
4. **Quy, H.Q.** Simulation of stabilizing process of dielectric nanoparticle in optical trap using counter-propagating pulsed laser beams / Ho Quang Quy, Mai Van Luu, Hoang Dinh Hai, Donan Zhuang // Chinese Optics Letter. – 2010. – V. 8, N 3. – P. 332-334.
5. **Zhu, G.** Simultaneous spatial and temporal focusing of femtosecond pulses / Guanghao Zhu, James van Howe, Michael Durst, Warren Zipfel, Chris Xu // Optics Express. – 2005. – V. 13, N 6. – P. 2153-2159.

References

1. **Kotlyar, V.V.** Sharp-focusing of radially polarized light with microlenses / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, S.S. Stafeev // Computer Optics. – 2008. – V. 32, N 2. – P. 155-167. – (In Russian).
2. **Kotlyar, V.V.** Simulation of sharp-focusing radially polarized laser mode with a conical and binary microaxicons / V.V. Kotlyar, S.S. Stafeev // Computer Optics. – 2009. – V. 33, N 1. – P. 52-60. – (In Russian).
3. **Kotlyar, V.V.** Sharp focus area of radially-polarized gaussian beam propagation through an axicon / V.V. Kotlyar, A.A. Kovalev, S.S. Stafeev // Progress in Electromagnetics Research C. – 2008. – V. 5. – P. 35-43.
4. **Quy, H.Q.** Simulation of stabilizing process of dielectric nanoparticle in optical trap using counter-propagating pulsed laser beams / Ho Quang Quy, Mai Van Luu, Hoang Dinh Hai, Donan Zhuang // Chinese Optics Letter. – 2010. – V. 8, N 3. – P. 332-334.
5. **Zhu, G.** Simultaneous spatial and temporal focusing of femtosecond pulses / Guanghao Zhu, James van Howe, Michael Durst, Warren Zipfel, Chris Xu // Optics Express. – 2005. – V. 13, N 6. – P. 2153-2159.
- 6.

SIMULATION OF PULSED LASER BEAMS PASSING THROUGH REFRACTIVE AXICON

A.V. Meterko

S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)

Abstract

Simulation of electromagnetic waves propagation through refractive axicon using FDTD method in cylindrical system of axis. Waves are chosen as plain waves with gaussian time distribution.

Key words: gaussian pulse, refractive axicon, FDTD, Meep.

Сведения об авторе

Метерко Александр Валерьевич, магистрант Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. Область научных интересов: моделирование оптических сигналов, работа на высокопроизводительных системах.

E-mail: desperus@yandex.ru

Aleksander Valeryevich Meterko, magister student of the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov. Research interests: optical waves simulation, high-performance systems.