

УДК 530.182, 535.15

DOI: 10.17223/00213411/64/1/154

А.А. ЗЕМЛЯНОВ, Ю.Э. ГЕЙНЦ, О.В. МИНИНА

ДИФРАКЦИОННО-ЛУЧЕВАЯ МОДЕЛЬ ОДИНОЧНОЙ ФИЛАМЕНТАЦИИ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ОЦЕНОК ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАСТИ МНОЖЕСТВЕННОЙ ФИЛАМЕНТАЦИИ В ВОЗДУХЕ *

Проведена оценка характеристик области множественной филаментации фемтосекундных лазерных импульсов в воздухе на основе модели одиночной филаментации. В качестве последней рассмотрена дифракционно-лучевая модель, в основе которой лежит представление лазерного пучка в виде набора вложенных друг в друга дифракционно-лучевых трубок, которые не пересекаются в пространстве и не обмениваются друг с другом энергией. При этом изменения их формы и сечения при распространении отражают действие физических процессов, происходящих с излучением в среде. Показано, что использование данной модели для интерпретации экспериментальных данных является эффективным. В частности, продемонстрировано, что для мелкомасштабных неоднородностей интенсивности в профиле сантиметрового лазерного пучка, формирующих область множественной филаментации субтераваттных лазерных импульсов фемтосекундной длительности, характерны значения радиуса в несколько миллиметров, а мощности от нескольких единиц до нескольких десятков гигаватт. Телескопирование исходного лазерного пучка, приводящее к увеличению его радиуса, также расширяет размеры первоначальных мелкомасштабных неоднородностей интенсивности и уменьшает содержащуюся в них мощность. В результате этого координата начала филаментации сдвигается по трассе от источника лазерных импульсов. При увеличении пиковой мощности в пучке происходит формирование более длинных филаментов и возрастание их количества.

Ключевые слова: фемтосекундные лазерные импульсы, воздух, самофокусировка, множественная филаментация, дифракционно-лучевая трубка.

Введение

Одним из перспективных направлений в исследованиях распространения оптического излучения в атмосфере является атмосферная фемтосекундная оптика. Ее активное развитие началось в середине 1990-х годов, когда были успешно проведены эксперименты [1–4] по распространению фемтосекундных лазерных импульсов в воздухе. Это стало новым этапом в исследованиях явлений самофокусировки и филаментации излучения, являющихся приоритетными для атмосферной фемтосекундной оптики. Распространение фемтосекундных лазерных импульсов в нелинейной среде может происходить в условиях формирования в поперечном сечении лазерного пучка как одного канала с экстремальной интенсивностью (одиночная филаментация), так и нескольких десятков и даже сотен таких каналов (множественная филаментация). Их число определяется свойствами среды распространения, а также начальными параметрами лазерных импульсов, в том числе относительной пиковой мощностью импульса $\eta = P_0/P_{cr}$ (т.е. тем, во сколько раз начальная пиковая мощность в импульсе P_0 превосходит значение критической мощности самофокусировки P_{cr}) и начальным радиусом лазерного пучка.

Следует отметить, что на сегодняшний день в рамках атмосферной фемтосекундной оптики решаются задачи по передаче энергии на протяженных трассах и зондированию атмосферы. Основным инструментом в данном случае являются лазеры ультракоротких импульсов, для которых характерны субтераваттные и тераваттные уровни мощности, в частности титан-сапфировый лазер. Кроме того, экспериментальные исследования в основном проводятся в условиях множественной филаментации. В этих экспериментах регистрация плотности энергии лазерных импульсов происходит путем накопления во времени сигнала на матрице приемника. При множественной филаментации в распределении плотности энергии в плоскости приема отчетливо выделяется набор ярких пятен, каждое из которых является следствием наличия экстремальной интенсивности при филаментации лазерных импульсов. Фиксация геометрических и физических характеристик этих пятен при распространении излучения вдоль трассы позволяет провести оценку их количества и энергосодержания.

* Работа выполнена в рамках госзадания ИОА СО РАН.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>