**Влияние дисперсии среды на параметры фемтосекундного излучения при его фокусировке аксиконом в плавленый кварц.**
**Докукина А.Э., Сметанина Е.О.**
Студент, аспирантМосковский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет, Москва, РоссияE–mail: dokukina.aleksandra@mail.ru

В 1987 году было показано (Durnin, 1987), что Бесселев пучок является решением уравнения дифракции для свободного пространства и распространяется без дифракционного расплывания. При фемтосекундной филментации Бессель-Гауссовы пучки позволяют получать более протяжённые плазменные каналы в конденсированной среде и в газах, чем Гауссовы пучки (Косарева, 2005, Polynkin, 2008). Использование Бессель-Гауссовых пучков перспективно для управления положением плазменных каналов в средах, получения элементов микрооптики. Экспериментально Бессель-Гауссовы пучки получают при фокусировке Гауссовых пучков конической линзой (аксиконом). Формирование непрерывного излучения с Бессель-Гауссовым радиальным распределением интенсивности подробно изучено в книге (Пятницкий, 2012). Показано, что существует область в пространстве, в которой сфокусированный аксиконом Гауссов пучок за счёт интерференции приобретает в плоскости поперечного сечения кольцевую структуру, и в этой области пучок можно считать Бессель-Гауссовым. На некотором расстоянии от аксикона интенсивность на оси пучка достигает максимальной величины. Влияние материала аксикона на формирование Бессель-Гауссового пучка в фемтосекундном излучении рассмотрено в приближении второго порядка теории дисперсии [Бабин, 2002], показано, что дисперсия вызывает увеличение длительности и уменьшение пиковой интенсивности.

Настоящая работа посвящена численному исследованию влияния дисперсии среды, в которой распространяется излучение, сфокусированное аксиконом, на динамику формирования Бессель-Гауссового распределения интенсивности в пучке.

Численное исследование основывается на уравнении для комплексной амплитуды поля, полученное в рамках модели медленно меняющихся амплитуд (Ахманов, 1988), которое включает дифракцию и дисперсию волнового пакета. При этом материальная дисперсия среды не ограничивалась вторым приближением, и для ее моделирования использовалась формула Селмейера (Malitson, 1965). Рассматривалось фемтосекундное излучение с Гауссовым профилем интенсивности и гауссовой формой импульса. После фокусировки аксиконом амплитуда светового поля рассматриваемого излучения приобретала линейный по радиусу набег фазы:

$$E\_{0}\left(r,t\right)=A\_{0}exp\left(-\frac{r^{2}}{2w\_{0}^{2}}+ikr\sin(β)-\frac{t^{2}}{2τ\_{0}^{2}}\right)$$

Здесь w0 – радиус пучка, фокусируемого аксиконом, τ0 – длительность импульса. Угол сходимости β излучения после фокусировки определяется выражением:
$$β= \frac{n\_{вкс}-1}{n\_{кв}}α$$

где nакс = nкв = 1,44 – показатели преломления материала аксикона и кварца, α = 0,5⁰ – угол при основании аксикона. Описанная модель не учитывает дисперсию в материале аксикона.

Рассматривалось излучение на длине волны λ = 1800 нм, которая лежит в области аномальной дисперсии групповой скорости кварца, где возможно образование световых пуль при фемтосекундной филаментации (Smetanina, 2013). Радиус Гауссова пучка w0=1 мм. На рисунке 1 приведена интенсивность на оси в центральном временном слое излучения I в зависимости от расстояния z до аксикона при различных длительностях импульса. При фокусировке стационарного излучения максимальная интенсивность Imax в Бессель-Гауссовом распределении значительно превышает пиковую интенсивность I0 в фокусируемом Гауссовом пучке, и их отношение составляет Imax/I0 = 27. С сокращением длительности импульса уменьшается максимальная интенсивность, достигаемая в формируемом Бессель-Гауссовом распределении. Так, для фемтосекуного излучения длительностью τ0 = 100 фс отношение максимальной достигаемой интенсивности к пиковой интенсивности фокусируемого Гауссова излучения составляет Imax/I0 = 11, а для излучения длительностью τ0 = 30 фс это отношение уменьшается до Imax/I0 = 4. С уменьшением длительности излучения, т.е. с сокращением его дисперсионной длины, расплывание во времени становится сравнимым с геометрической фокусировкой, что ведёт к уменьшению пиковой интенсивности, достигаемой в результате аксиконной фокусировки. В случае фокусировки излучения 30 фс зависимость интенсивности на оси в центральном временном слое импульса от расстояния до аксикона имеет существенно немонотонный характер. Локальные минимумы в зависимости I(z) обусловлены расщеплением фемтосекундного импульса на субимпульсы в процессе распространения в диспергирующей среде. При распространении импульса длительностью 100 фс такого расщепления не наблюдается.



*Рис.1. Интенсивность Iна оси пучка, формируемого Бессель-Гауссового распределения в центральном временном слое излучения, сфокусированного аксиконом в плавленый кварц, в зависимости от расстояния до аксикона при различных длительностях импульса τ. I0 – интенсивность на оси гауссового пучка, падающего на аксикон.*

**Литература.**

1. Ахманов С.А., Вислоух В.А., Чиркин А.С. (1988) Оптика фемтосекундных лазерных импульсов // М.: Наука

2. Бабин А.А., Карташов Д.В., Кулагин Д.И. (2002) Фокусировка фемтосекундного излучения аксиконной линзой // Квантовая электроника, том 32, №4, стр.308-310

3. Косарева О.Г., Григорьевский А.В., Кандидов В.П. (2005) Формирование протяженных плазменных каналов в конденсированной среде в результате аксиконной фокусировки фемтосекундного лазерного импульса // Квантовая электроника, том 35, №11, стр. 1013-1014

4. Пятницкий Л.Н. (2012) Волновые Бесселевы пучки //М: Физматлит

5. Durnin J. (1987) Exact solutions for nondiffracting beams. I. The scalar theory // J. Opt. Soc. Am. A, vol.4, №4, pp. 651-654

6. Malitson I.H. (1965) Interspecimen Comparison of the Refractive Index of Fused Silica // Journal of OSA, vol. 55, №1965, pp. 1205-1208.

7. Polynkin P., Kolesik M., Roberts A., Faccio D., Di Trapani P., Moloney J. (2008) Generation of extended plasma channels in air using femtosecond Bessel beams // Optics Express, vol.16, №20, pp. 15733-15740

## 8. Smetanina E.O., Kompanets V.O., Dormidonov A.E., Chekalin S.V., Kandidov V.P. (2013) Light bullets from near-IR filament in fused silica // Laser Physics Letters, vol.10, №10, p. 105401