

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСИИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА НА СОЛИТОННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СРЕДЕ С КОМБИНИРОВАННОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Лай Гансюань

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: laigangxuan@gmail.com

Научный руководитель — Лысак Татьяна Михайловна

Сверхкороткие лазерные импульсы длительностью несколько десятков или сотен фемтосекунд широко используются в различных областях, включая оптическую связь, лазерную обработку материалов и биомедицинскую визуализацию. Распространение таких импульсов в нелинейных средах сопровождается рядом нелинейных эффектов, таких как самофокусировка, фазовая модуляция и генерация новых частот [1,2]. Эти эффекты могут существенно влиять на форму, спектр и фазу импульсов, что делает важным понимание их динамики.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на распространение сверхкоротких лазерных импульсов, является дисперсия, которая описывает зависимость групповой скорости света от частоты. Дисперсия второго порядка, также известная как групповая дисперсия, является доминирующим эффектом для большинства материалов в оптическом диапазоне. Однако для сверхкоротких импульсов дисперсия третьего порядка также может играть значительную роль.

В данной работе исследуется влияние дисперсии третьего порядка на распространение сверхкоротких лазерных импульсов в среде с комбинированной нелинейностью, включающей как квадратичную, так и кубичную нелинейность. В результате квадратичной нелинейности в среде происходит генерация излучения на удвоенной частоте.

В рамках приближения медленно меняющихся амплитуд и в предположении, что дифракционная длина существенно превосходит длину нелинейной среды, распространение сверхкороткого лазерного излучения в среде с квадратичной и кубичной нелинейностью может быть описано системой двух связанных нелинейных

уравнений Шредингера [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_1}{\partial z} + v_1 \frac{\partial E_1}{\partial t} + iD_{2,1} \frac{\partial^2 E_1}{\partial t^2} + D_{3,1} \frac{\partial^3 E_1}{\partial t^3} \\ + i\gamma_1 E_1^* E_2 e^{i\Delta kz} + i\alpha_1 E_1 \left(|E_1|^2 + 2|E_2|^2 \right) = 0 \\ \frac{\partial E_2}{\partial z} + v_2 \frac{\partial E_2}{\partial t} + iD_{2,2} \frac{\partial^2 E_2}{\partial t^2} + D_{3,2} \frac{\partial^3 E_2}{\partial t^3} \\ + i\gamma_2 (E_1)^2 e^{-i\Delta kz} + i\alpha_2 E_2 \left(2|E_1|^2 + |E_2|^2 \right) = 0. \end{aligned}$$

Здесь E_1 и E_2 - медленно меняющиеся комплексные амплитуды напряженности электрического поля излучения на основной и удвоенной частоте, параметры γ_1 и γ_2 характеризуют квадратичную нелинейность среды, параметры α_1 и α_2 описывают кубичную нелинейность среды. Параметры v_1 и v_2 описывают групповые скорости волн, параметры $D_{2,1}$, $D_{2,2}$ и $D_{3,1}$, $D_{3,2}$ - дисперсию групповых скоростей второго и третьего порядка, соответственно. Параметр $\Delta k = k_2 - 2k_1$ определяется волновыми числами k_1 и k_2 излучения на основной частоте и удвоенной частоте, соответственно, и описывает расстройку волновых чисел. В каскадном пределе, то есть при больших расстройках волновых чисел, эффективность генерации второй гармоники оказывается пренебрежимо малой и распространение излучения на основной частоте может быть описано одним уравнением Шредингера с кубичной нелинейностью.

В настоящей работе приводятся уравнения каскадного предела, полученные методом многих масштабов [4,5], позволяющие предсказать параметры солитонного распространения лазерного излучения. На основе консервативных разностных схем проводится численное исследование влияния дисперсии третьего порядка на распространение лазерного излучения в солитонном режиме.

Литература

1. С. А. Ахманов, В. А. Выслоух, А. С. Чиркин. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: Наука, 1988. 312 с.
2. Н. Н. Ахмедиев, А. Анкевич. Солитоны. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 304 с..
3. Т. Б. Разумихина, Л. С. Телегин, А. И. Холодных, А. С. Чиркин, "Трехчастотные взаимодействия интенсивных световых волн в средах с квадратичной и кубичной нелинейностями," Квантовая электроника 11 (10), 2026-2030 (1984).

4. C. Conti, S. Trillo, P. Di Trapani, J. Kilius, A. Bramati, S. Minardi, W. Chinaglia, and G. Valiulis, "Effective lensing effects in parametric frequency conversion," *J. Opt. Soc. Am. B* 19, 852-859 (2002).
5. Ali H. Nayfeh. *Introduction to Perturbation Techniques.*: Wiley Classics Library Edition (JOHN WILEY SONS, INC.) 1993, 532 p.