

## ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПЯТОГО ПОРЯДКА НА ДИНАМИКУ САМОВОЗДЕЙСТВИЯ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ СОЛИТОННЫХ ИМПУЛЬСОВ В ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

Е.М. Дианов, Э.С. Никонова

*Численно исследована динамика самосжатия фемтосекундных многосолитонных импульсов света в волоконных световодах с учетом нелинейности пятого порядка и рассчитаны оптимальные параметры компрессии.*

Исследование самовоздействия света в волоконных световодах (ВС) в условиях сильной нелинейности представляет интерес при решении прикладных задач, связанных с генерацией сверхкоротких импульсов света, и в фундаментальных исследованиях, относящихся к оценкам коэффициента нелинейной восприимчивости пятого порядка. Рядом экспериментов и методами математического моделирования выявлены основные характеристики процесса самосжатия мощных многосолитонных импульсов света в ВС. В /1–5/ проведен учет роли кубической дисперсии, дисперсии нелинейности и инерционности нелинейного отклика среды в процессах компрессии. Однако, как отмечалось в /6–9/, при рассмотрении эволюции интенсивных импульсов в ВС необходимо учитывать также влияние нелинейности пятого порядка.

Целью настоящей работы является численное исследование динамики самосжатия фемтосекундных многосолитонных импульсов света в ВС с учетом нелинейности пятого порядка и расчет оптимальных параметров самосжатия.

Нелинейная эволюция волновых пакетов в ВС описывалась уравнением для комплексной амплитуды огибающей световых волн  $\Psi(z, \tau)$  /1–5/:

$$i \frac{\partial \Psi}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \tau^2} + \delta n \Psi - i\gamma \frac{\partial}{\partial \tau} (\delta n \Psi) + i\beta\gamma \frac{\partial^3 \Psi}{\partial \tau^3} - \sigma \Psi \frac{\partial \delta n}{\partial \tau}, \quad (1)$$

где  $\delta n = R|\Psi|^2 - rR^2|\Psi|^4$ ;  $z$  – координата вдоль ВС, нормированная на дисперсионную длину импульса  $z_d = t_0^2/|k''|$ ;  $\tau$  – время, нормированное на длительность импульса  $t_0$ ;  $R, r$  – нелинейные коэффициенты;  $\gamma, \beta, \sigma$  – коэффициенты при членах, описывающих дисперсию нелинейности, кубическую дисперсию и комбинационное смещение частоты солитона.

Из оценок следует, что для импульсов длительностью  $t_0 = 25 - 50$  фс безразмерный коэффициент при нелинейном члене пятого порядка  $r \approx 10^{-3}$ . Численное интегрирование уравнения (1), проведенное в широком диапазоне параметров  $N = \sqrt{R}$ , показало, что динамика самосжатия многосолитонных импульсов, рассчитанная при  $r \approx 10^{-3}$  и  $\sqrt{R} \geq 5$ , существенно отличается от динамики связанных состояний солитонов кубического нелинейного уравнения Шредингера. Учет роли нелинейности пятого порядка приводит к увеличению длины оптимального самосжатия  $z_{opt}$  и уменьшению максимальной степени сжатия  $\Delta\tau_0/\Delta\tau_{min}$  (рис. 1), где  $\Delta\tau_0$  – полная начальная длительность импульса на полувысоте. Кроме того, при  $r \approx 10^{-3}$  и  $R \geq 100$  самосжатие импульса на начальном этапе может отсутствовать, происходит расслоение его на фрагменты (рис. 2а), что существенно отличается от динамики самосжатия, рассчитанной без учета нелинейности пятого порядка (рис. 2б). Такое качественно новое поведение волновых пакетов уже не позволяет их описать с помощью параметров компрессии  $z_{opt}$  и  $\Delta\tau_0/\Delta\tau_{min}$ , используемых в моделях, не учитывающих влияние нелинейности пятого порядка. Поэтому на рис. 1 параметры  $z_{opt}$  и  $\Delta\tau_0/\Delta\tau_{min}$  при  $r \neq 0$  представлены не для всего диапазона значений  $\sqrt{R} = 5 - 20$ .

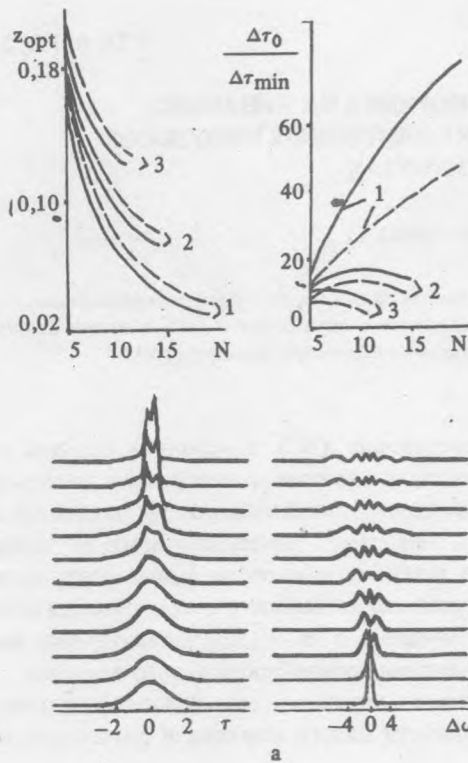


Рис. 1. Оптимальные параметры компрессии  $z_{opt}$  (а) и  $\Delta\tau_0/\Delta\tau_{min}$  (б), рассчитанные при  $\beta = \gamma = \sigma = 0$  (сплошные) и  $\beta = 0,25$ ;  $\gamma = 0,02$ ,  $\sigma = 0,05$  (штриховые кривые) для различных значений  $\gamma = 0$  (1); 0,001 (2), 0,0025 (3) при  $\Psi(0, \tau) = \text{sech } \tau$ .

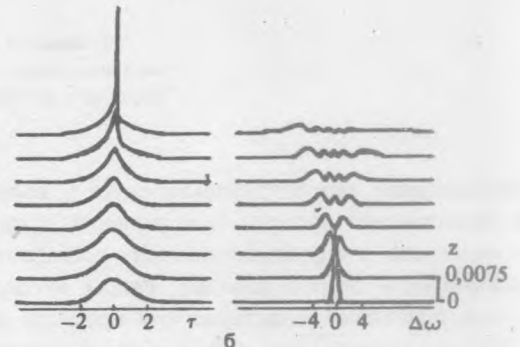


Рис. 2. Эволюция временных огибающих  $|\Psi(z, \tau)|^2$  и спектров импульса  $I(\Delta\omega, z)/\Gamma(0, 0)$  ( $\Delta\omega$  – нормирована на полную ширину спектра импульса  $\Psi(0, \tau) = \text{sech } \tau$ ), рассчитанная при  $\gamma = 0,001$ , (а) и 0 (б) для  $R = 400$ ,  $\gamma = 0,02$ ,  $\beta = 0,25$ ,  $\sigma = 0,1$ .

Приведем для примера характерные параметры световых импульсов: при  $R = 25$   $t_0 = 50$  фс, длина волны  $\lambda = 1,4$  мкм, пиковая мощность  $p_0 = 100$  кВт, дисперсионная длина импульса  $z_d = 10$  см. Проведение экспериментов с фемтосекундными солитонными импульсами предельно высоких мощностей позволило бы проверить справедливость проведенных в настоящей работе оценок и расчетов, уточнить роль нелинейности высших порядков при самовоздействии мощных сверхкоротких импульсов света в ВС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gordon J.P. Opt. Lett., 11, 662 (1986).
2. Hasegawa A., Kodama J. IEEE Journ. of Quantum Electron., QE-23, 510 (1987).
3. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. УФН, 149, 449 (1986).
4. Головченко Е.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 45, 73 (1987).
5. Дианов Е.М., Никонова З.С., Серкин В.Н. Квантовая электроника, 16, 1453 (1989).
6. Wilhelmi B. Ann. der Phys., 43, 355 (1986).
7. Kumar A., Sarkar S.N., Ghatak A.K. Opt. Lett., 11, 321 (1986).
8. Kumar A., Sodha M.S. Electron. Lett., 23, 275 (1987).
9. Дианов Е.М., Никонова З.С. Препринт ИОФАН № 4, М., 1989.

Поступила в редакцию 14 февраля 1990 г.