

Нелинейно-дисперсионный симиляритон: спектрально-интерферометрическое исследование

А.С.Зейтунян, К.А.Паланджян, Г.Л.Есяян, Л.Х.Мурадян

С использованием метода спектральной интерферометрии, полностью характеризующего комплексное поле излучения, экспериментально обнаружен и исследован сформированный в пассивном световоде симиляритон. Нелинейно-дисперсионный характер процесса его формирования приводит к линейризации чирпа и свойству спектрально-временного подобия такого симиляритона.

Ключевые слова: световод, фемтосекундный импульс, спектральная интерферометрия, симиляритон, спектрально-временное отображение.

Интерес к оптическим симиляритонам за последние годы стимулирован перспективами их использования для решения задач анализа и синтеза сигналов в сверхбыстрой оптике [1]. В основном исследуется генерация параболических симиляритонов в одномодовых волоконных световодах (ОВС) с усилением [2, 3] или с убывающей дисперсией [4]. В работах [5, 6] показано, что в пассивном ОВС (без усиления) вследствие комбинированного воздействия керровской нелинейности и дисперсии групповых скоростей также может генерироваться (формироваться) симиляритон. Нелинейно-дисперсионный симиляритон, как и параболический, интересен с точки зрения применений в сверхбыстрой оптике, таких как спектральная интерферометрия [7], спектрально-временное отображение во временной линзе [8] и т. п.

Предметом настоящей работы является экспериментальное исследование нелинейно-дисперсионного симиляритона, генерируемого в пассивном ОВС, целью – выявление его характерных особенностей. Исследования проводились методом спектральной интерферометрии, полностью характеризующим сверхкороткие импульсы (СКИ) путем восстановления комплексного поля излучения [9]. Схема эксперимента показана на рис.1. Излучение фемтосекундного лазера с длительностью СКИ ~ 100 фс и частотой их следования 76 МГц разделялось с помощью интерферометра Маха – Цендера на два пучка. Пучок с меньшей мощностью служил опорным. Во втором плече интерферометра излучение проходило через стандартную систему синтеза СКИ [10], где исходный спектр шириной 11 нм обрезался до 2 нм и формировались СКИ различных форм, которые затем вводились в ОВС для генерации симиляритонов. Использовались стандартные ОВС с сохранением поляризации (Newport F-SPF@820 нм, ThorLabs HP@780 нм), длины которых z составляли 1, 9 и 36 м. На выходе интерферометра с помощью оп-

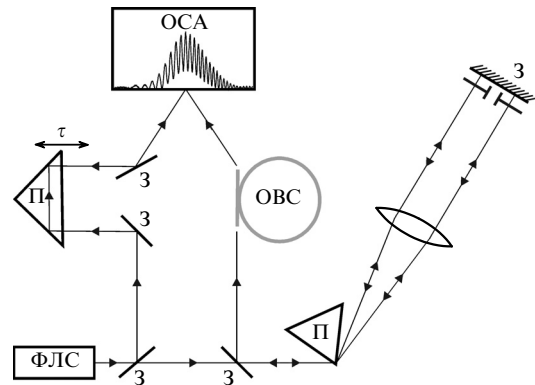


Рис.1. Схема экспериментальной установки:

ФЛС – фемтосекундная лазерная система Coherent Verdi V10-Mira 900F; З – зеркала; П – призмы; ОСА – оптический спектральный анализатор; ОВС – одномодовый волоконный световод.

тического спектрального анализатора OSA Ando 6315 регистрировались интерференционные спектры, и по методике из работы [11] восстанавливались спектральные фазы симиляритонов $\phi(\omega)$.

На рис.2 показаны восстановленные спектральные фазы симиляритонов, сформированных в ОВС длиной 9 м из различных входных СКИ. Фазы являются параболическими независимо от формы начального СКИ: $\phi(\omega) = -\alpha\omega^2/2$. Важно, что значения коэффициентов $\alpha \equiv -\phi''(\omega)$, вне зависимости от параметров начального СКИ, практически совпадают с таковыми и для чисто дисперсионного распространения СКИ: $\alpha \approx k_2 z = 0.32$ пс² (k_2 – коэффициент дисперсии групповых скоростей для ОВС). На меньших длинах ОВС ($z \sim 1$ м) формируются прямоугольные СКИ, спектральные фазы которых параболически только в центральной энергонесущей части спектра, причем и в этом случае в соответствии с длиной ОВС $\alpha = 0.0465$ пс².

Экспериментальные исследования, в согласии с численным анализом [6], показали, что наведенная в ОВС параболическая фаза симиляритона практически не зависит от исходных параметров СКИ и задается только дисперсией ОВС. Исходя из спектра $S(\omega)$ и спектральной фазы

А.С.Зейтунян, К.А.Паланджян, Г.Л.Есяян, Л.Х.Мурадян. Ереванский государственный университет, физический факультет, Армения, 0025 Ереван, ул. А.Манукяна 1; e-mail: azeytunyan@ysu.am

Поступила в редакцию 13 марта 2009 г., после доработки – 24 января 2010 г.

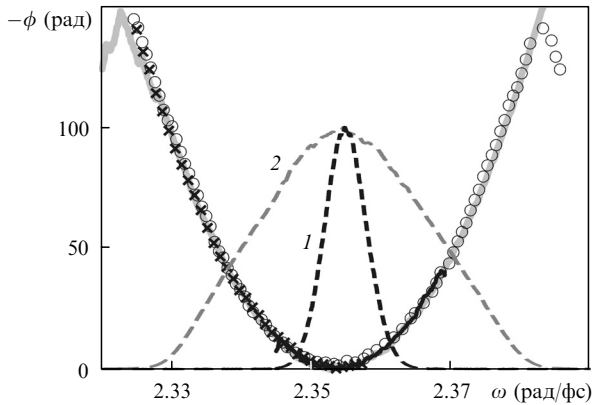


Рис.2. Спектральные фазы нелинейно-дисперсионных симиляритонов, сформированных из различных входных СКИ, и спектральная фаза СКИ при дисперсионном распространении (черная кривая, $\alpha \equiv -\phi''(\omega) = 0.32 \text{ пс}^2$). Серая кривая соответствует входному однопиковому СКИ длительностью 525 фс ($\alpha = 0.33 \text{ пс}^2$), кружки ($\alpha = 0.328 \text{ пс}^2$) и крестики ($\alpha = 0.35 \text{ пс}^2$) – двухпиковым импульсам с расстояниями между пиками $\Delta t = 628$ и 743 фс соответственно. Штриховыми кривыми показаны нормированные спектры одиночного СКИ на входе в ОВС (1) и соответствующего симиляритона на выходе из ОВС длиной 9 м (2).

$\phi(\omega)$ симиляритона, с помощью преобразования Фурье \hat{F} можно восстановить его комплексную временную амплитуду:

$$A(t, z) = \hat{F}\{\sqrt{S(\omega, z)} \exp[i\phi(\omega, z)]\} \\ \approx \frac{1}{\sqrt{i\alpha}} \exp\left(-\frac{i\alpha\omega^2}{2}\right) \sqrt{S(\omega, z)} \Big|_{\omega=t/\alpha}. \quad (1)$$

Приближенное соотношение (1), основанное на параболичности $\phi(\omega)$, по аналогии с фраунгоферовской дифракцией выполняется точнее при больших значениях коэффициента α , т.е. на больших длинах самовоздействия СКИ в ОВС z . Таким образом, параболичность фазы (линейность чирпа) симиляритона приводит к спектрально-временному подобию: временной профиль интенсивности симиляритона повторяет его спектр, $I(t) = |A(t)|^2 \propto S(\omega = t/\alpha)$. На рис.3 представлены спектрально-временные профили интенсивности симиляритонов, сформированных из двухпикового СКИ, при разных мощностях излучения и длине ОВС 36 м.

Таким образом, спектрально-интерферометрическая характеристика симиляритона, сформированного в пассивном ОВС, выявила присущие ему особенности, обеспечив его описание посредством (1). Нелинейно-дисперсионный процесс самовоздействия и формирования приводит к спектрально-временному подобию симиляритона

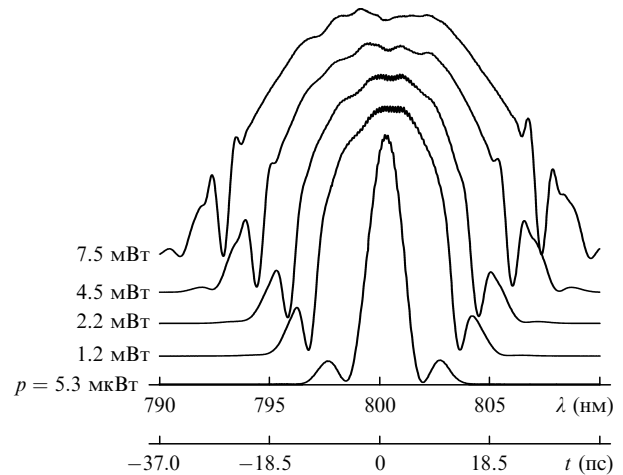


Рис.3. Спектрально-временные профили интенсивности симиляритонов, сформированных из двухпикового СКИ при средних мощностях излучения p , указанных на рисунке, и длине ОВС $z = 36$ м. Кривая с $p = 5.3$ мкВт соответствует дисперсионному распространению (и входному спектру).

тона из-за линейризации его чирпа, наклон которого задан дисперсией световода; при этом, в соответствии с численным анализом [6], форма профиля интенсивности в центральной энергонесущей части стремится к параболической независимо от параметров исходного СКИ. Выявленные свойства нелинейно-дисперсионного симиляритона важны для задач анализа и синтеза сигнала в сверхбыстрой оптике, в частности для спектральной интерферометрии [7] и спектрально-временного отображения в параболической временной линзе [8].

1. Dudley J.M., Finot C., Millot G., Richardson D.J. *Nat. Phys.*, **3**, 597 (2007).
2. Kruglov V.I., Peacock A.C., Harvey J.D., Dudley J.M. *J. Opt. Soc. Am. B*, **19**, 461 (2002).
3. Finot C., Millot G., Billet C., Dudley J.M. *Opt. Express*, **11**, 1547 (2003).
4. Finot C., Barviau B., Millot G., Guryanov A., Sysoliatin A., Wabnitz S. *Opt. Express*, **15**, 15824 (2007).
5. Kockaert P., Mouradian L., Yesayan G., Emplit Ph. *Proc. Symp. IEEE / LEOS (Benelux, 2007, p. 39)*.
6. Есян Г.Л., Паланджян К.А., Мансурян Т.Г., Зейтунян А.С., Мурадян Л.Х. *Изв. НАН Армении. Физика*, **43**, 35 (2008).
7. Zeytunyan A., Yesayan G., Mouradian L., Louradour F., Barthelemy A., in *Frontiers in Optics (OSA Technical Digest, 2009, FW15)*.
8. Mansuryan T., Zeytunyan A., Kalashyan M., Yesayan G., Mouradian L., Louradour F., Barthelemy A. *J. Opt. Soc. Am. B*, **25**, A101 (2008).
9. Reynaud F., Salin F., Barthelemy A. *Opt. Lett.*, **14**, 275 (1989).
10. Weiner A.V. Heritage J.P., Kirschner E.M. *J. Opt. Soc. Am. B*, **5**, 1563 (1988).
11. Takeda M., Ina H., Kobayashi S. *J. Opt. Soc. Am.*, **72**, 156 (1982).