

Спектральные характеристики движущейся индуцированной решетки показателя преломления

Т.А. Войтова,* А.П. Сухоруков

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра фотоники и физики микроволн
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2*

Исследовано взаимодействие короткого оптического импульса с движущейся решеткой показателя преломления, наведенной в нелинейной среде. Изучены режимы отражения, прохождения и захвата энергии индуцированной структурой, проведено исследование спектральных характеристик взаимодействующих импульсов.

PACS: 42.25.Bs, 42.30.Kq, 42.60.Fc. УДК: 621.373.826.

Ключевые слова: нелинейная оптика, лазерный импульс, индуцированная гребенка импульсов, отражение импульсов.

В нелинейной среде неоднородность показателя преломления для слабого сигнального излучения создается, используя мощное излучение на опорной частоте [1–4]. Периодическая последовательность импульсов накачки индуцирует для сигнального импульса движущуюся решетку показателя преломления. При распространении сигнала в такой структуре ранее были описаны эффекты дискретной дисперсии, захвата в параметрический солитон, подавления решеточного расплывания [5].

Рассмотрим взаимодействие двух оптических импульсов на частотах ω_1 (накачка) и ω_2 (сигнал) в среде с керровской нелинейностью. Импульс накачки, представляющий собой периодическую последовательность коротких субимпульсов, индуцирует в среде решетку показателя преломления, распространяющуюся с групповой скоростью импульса накачки. Форма и глубина модуляции показателя преломления в решетке определяется профилем и интенсивностью опорного импульса. Далее в среду с некоторой начальной временной задержкой подается сигнальный импульс. Групповая скорость сигнального импульса превышает скорость распространения опорного импульса, таким образом, сигнал догоняет накачку, и «чувствует» индуцированную решетку. Высокоинтенсивная накачка в расчетах представлялась в виде нескольких субимпульсов прямоугольной формы, сигнальный импульс слабой интенсивности имел гауссов профиль.

При рассмотрении взаимодействия короткого оптического импульса с движущейся нелинейно индуцированной решеткой показателя преломления удобно использовать модель «встречных волн». При этом сигнальный импульс представляется в виде суммы части импульса, опережающей накачку («прошедший импульс»), и части импульса, отстающей от накачки («отраженный импульс»):

$$E_{\text{sign}}(z, t) = A_1(t - zu_1^{-1})e^{i(\omega_1 t - k(\omega_1)z)} + A_2(t - zu_2^{-1})e^{i(\omega_2 t - k(\omega_2)z)} + c.c. \quad (1)$$

Здесь A_1 и A_2 — медленно меняющиеся комплексные амплитуды прошедшей и отраженной частей сигнального импульса, которые в системе отсчета, связанной с импульсом накачки с амплитудой A_3 , распространяются во встречных направлениях. Частоты взаимодействующих импульсов удовлетворяют соотношению $\omega_{\text{pump}} = \omega_1 - \omega_2$. Динамика такого взаимодействия в первом порядке теории дисперсии описывается системой связанных уравнений:

$$\frac{\partial A_1}{\partial z} + \nu_1 \frac{\partial A_1}{\partial \tau} = -\frac{i\chi_2 A_3}{\varepsilon_1} k_1 A_2 e^{-i\Delta k z}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial A_2}{\partial z} + \nu_2 \frac{\partial A_2}{\partial \tau} = -\frac{i\chi_2 A_3^*}{\varepsilon_2} k_2 A_1 e^{i\Delta k z}, \quad (3)$$

где $\nu_i = u_i^{-1} - u_{\text{pump}}^{-1}$ — расстройки обратных групповых скоростей, $\Delta k = k(\omega_{\text{pump}}) - (k(\omega_1) - k(\omega_2))$ — расстройка волновых векторов.

Система уравнений (2–3) решалась численно, варьировались различные параметры: профиль и длительность импульса накачки, количество импульсов в решетке, расстояние между импульсами решетки, расстройка групповых скоростей, величина нормированного на интенсивность накачки коэффициента нелинейности.

Рассмотрим взаимодействие сигнального импульса с решеткой накачки из 30 субимпульсов в случае большой расстройки групповых скоростей и малой глубины модуляции показателя преломления. При данных параметрах возможно частичное отражение сигнала наряду с прохождением части энергии через решетку.

Отраженный импульс после взаимодействия с решеткой испытывает искажения формы профиля, однако наибольшая часть энергии формируется в гауссов

*E-mail: voytova@physics.msu.ru

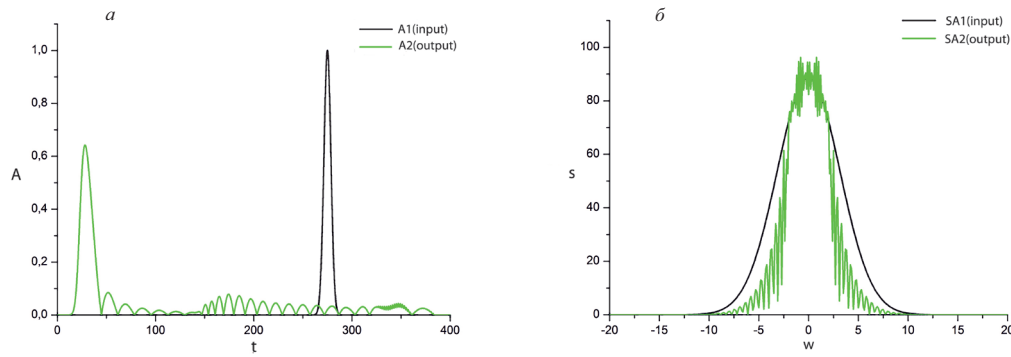


Рис. 1: Огибающие (а) и частотные спектры (б) сигнального импульса до взаимодействия (черная кривая) и отраженной части сигнального импульса после взаимодействия (зеленая кривая)

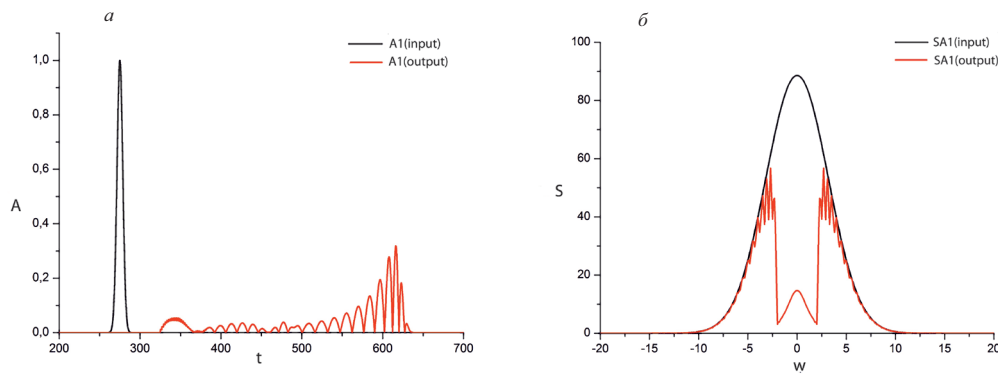


Рис. 2: Огибающие (а) и частотные спектры (б) сигнального импульса до взаимодействия (черная кривая) и прошедшей части сигнального импульса после взаимодействия (красная кривая)

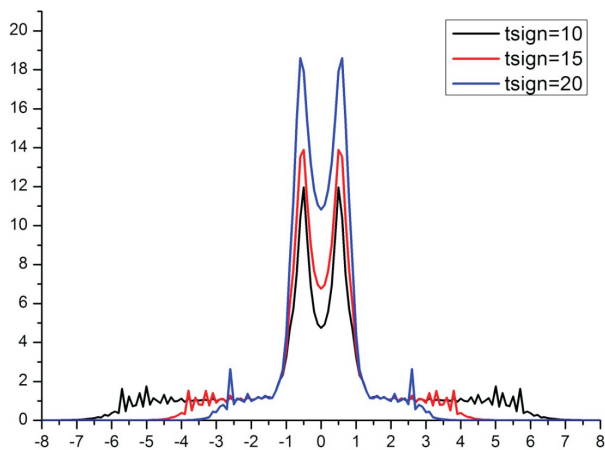


Рис. 3: Спектральная пропускная способность индуцированной решетки показателя преломления для различных параметров длительности сигнального импульса

импульс, длительность которого превышает длительность сигнала на входе в среду. Характерные изменения в спектре отраженной части показаны на рис. 1. Форма профиля прошедшего импульса существенно

искажается, в процессе отражений и переотражений, происходящих по мере распространения вдоль индуцированной решетки, формируется последовательность импульсов. В частотном спектре данное искажение формы профиля соответствует провалу в спектральной характеристике на несущей частоте. Зависимости показаны на рис. 2.

Спектральные характеристики взаимодействующих импульсов были проанализированы при варьировании различных параметров, как самих импульсов, так и нелинейной среды. Так, на рис. 3 показаны полученные спектры пропускания для сигнальных импульсов различных длительностей. Характерной особенностью является наличие у функции пропускания минимума во всем диапазоне рассматриваемых параметров, что соответствует преимущественному отражению решеткой спектральных компонент на несущей частоте.

Проведенные оценки показывают, что для сигнального импульса на частоте порядка 3 ТГц, длительность которого составляет 10^{-11} с, при взаимодействии с решеткой, индуцированной короткими импульсами накачки (порядка $4 \cdot 10^{-13}$ с), коэффициент отражения оказывается около 75%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-02-01012, 14-02-90050).

- [1] *Stegeman G.I., Hagan D.J., Torner L.* Opt. Quantum Electron. **28**, N 12. P 1691. (1996).
- [2] *Pertsch T., Iwanow R., Schiek R., Stegeman G., Peschel U., Lederer F., Min Y.H., Sohler W.* Opt. Lett. **30**, N 2. P. 177. (2005).
- [3] *Lobanov V.E., Sukhorukov A.P.* Phys. Rev. A. **82**, N 3. P. 033809. (2010).
- [4] *Sukhorukov A.P., Voitova T.A., Lobanov V.E., Bugai A.N., Sazonov S.V.* Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. **76**, N 3. C. 305. (2012).
- [5] *Voitova T.A., Sukhorukov A.P.* Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. **74**, No 12. C. 1704. (2010).

Spectral characteristics of a moving induced refractive index lattice

T. A. Voitova^a, A. P. Sukhorukov

*Department of Photonics and Microwave Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
Moscow 119991, Russia
E-mail: ^avoitova@physics.msu.ru*

The interaction of short optical pulse with a moving nonlinear induced refractive index lattice was considered. The regimes of reflection, transmission and energy capture by induced structure were studied, the interacting pulses spectral characteristics were analyzed.

PACS: 42.25.Bs, 42.30.Kq, 42.60.Fc.

Keywords: nonlinear optics, laser pulse, induced pulse lattice, pulse reflection.

Сведения об авторах

1. Сухоруков Анатолий Петрович — докт. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой фотоники и физики микроволн.
2. Войтова Татьяна Андреевна — аспирант; тел.: (495) 939- 33-17, e-mail: voitova@physics.msu.ru.