

Взаимодействие пробного оптического сигнала с квазипериодической последовательностью мощных импульсов накачки

Т. А. Войтова^{1,*}, А. В. Юлин^{1,†}, А. П. Сухоруков²¹Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.2

Исследуется взаимодействие короткого оптического импульса с решеткой показателя преломления, наведенной в нелинейной среде импульсными квазипериодическими структурами на близких частотах. Представлены результаты численного моделирования отражения, прохождения, мультиплексирования сигнального импульса на несколько суб-импульсов для различных индуцированных решеток.

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

УДК: 621.373.826

Ключевые слова: нелинейная оптика, дисперсия, индуцированная решетка, отражение импульсов.

В настоящее время особый интерес представляют высокоскоростные способы передачи и обработки данных, в этом направлении особую роль играют полностью оптические методы управления распространением лазерного излучения. В частности, в работах [1–4] рассмотрены особенности дифракции оптического излучения на периодических неоднородностях показателя преломления, наведенных в нелинейных средах. Ранее нами были исследованы особенности распространения сигнального лазерного импульса на бегущей индуцированной решетке показателя преломления, созданной бигармоническим опорным импульсом [5–7]. Было показано, что, в зависимости от параметров взаимодействующих импульсов, возможно наблюдение ряда эффектов: мультиплексирование одиночного сигнального импульса при небольшой глубине модуляции; захват сигнала одним из импульсов накачки в параметрический солитон, распространяющийся вдоль образца без изменения длительности, подавление дисперсионного расплывания сигнального импульса, управление групповой скоростью распространения сигнала посредством неоднородной по амплитуде индуцированной решетки. Целью настоящей работы является изучение динамики взаимодействия пробного импульса с двумя периодическими последовательностями импульсов на близких опорных частотах.

Рассмотрим в среде с квадратичной нелинейностью взаимодействие волн двух мощных импульсов на близких опорных частотах ω_{11} и ω_{12} , распространяющихся с различными групповыми скоростями, и слабого сигнального импульса, имеющего несущую частоту ω_2 . Посредством нелинейных процессов в среде возбуждаются волны на суммарных частотах $\omega_{31} = \omega_{11} + \omega_2$ и $\omega_{32} = \omega_{12} + \omega_2$. Пренебрежем влиянием слабых сигнальной и суммарных волн на высокоинтенсивную на-

качку. С учетом приближения большой дисперсионной расстройки волновых векторов между накачкой и пробной волной, можно получить уравнение для огибающей пробного импульса в следующем виде:

$$\frac{\partial A_2}{\partial z} + \nu_{21} \frac{\partial A_2}{\partial \tau} + i D_2 \frac{\partial^2 A_2}{\partial \tau^2} = i k_2 n_{nl} A_2 \quad (1)$$

где $n_{nl} = - \left[\frac{\gamma_2 \gamma_{31}}{k_2 \Delta k_1} |A_{11}(\tau)|^2 + \frac{\gamma_2 \gamma_{32}}{k_2 \Delta k_2} |A_{12}(\tau)|^2 \right]$ — профиль эффективного коэффициента преломления, созданного волной накачки для пробного сигнала; z — продольная координата; $\tau = t - z/u_{11}$ — бегущее время; $u_j = (\partial k_j / \partial \omega_j)^{-1}$ — групповая скорость; $\nu_j = u_j^{-1} - u_{11}^{-1}$ — расстройка обратных групповых скоростей; $D_j = 1/2 \partial^2 \omega_j / \partial k_j^2$ — коэффициент дисперсии второго порядка; γ_j — коэффициент нелинейности; $\Delta k_i = k(\omega_{11}) + k(\omega_2) - k(\omega_{3i})$ — расстройка волновых векторов.

При распространении сигнального импульса вдоль такой индуцированной решетки показателя преломления, происходит его рассеяние на динамической структуре, представляющей собой повторяющуюся последовательность импульсов, период которой изменяется по мере распространения вдоль среды. В приближении стационарной индуцированной неоднородности (когда разница групповых скоростей волн накачки мала по сравнению с расстройкой групповых скоростей между сигнальным импульсом и опорными: $\nu_{12} \ll \nu_{21}$) профиль индуцированной неоднородности будет определяться параметром $t_{pump} = \tau_2 - \tau_1$, представляющим собой время отставания решеток друг от друга. В работе показано, что взаимное расположение импульсов первой и второй накачек влияет на прозрачность среды для пробного импульса. На рис. 1 приведены профили индуцированных решеток и дисперсионные кривые для различных t_{pump} .

Если $t_{pump} = nr$, суб-импульсы двух решеток накладываются друг на друга, на дисперсионной диаграмме появляются области запрещенных волновых векто-

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

†E-mail: alex.v.yulin@gmail.com

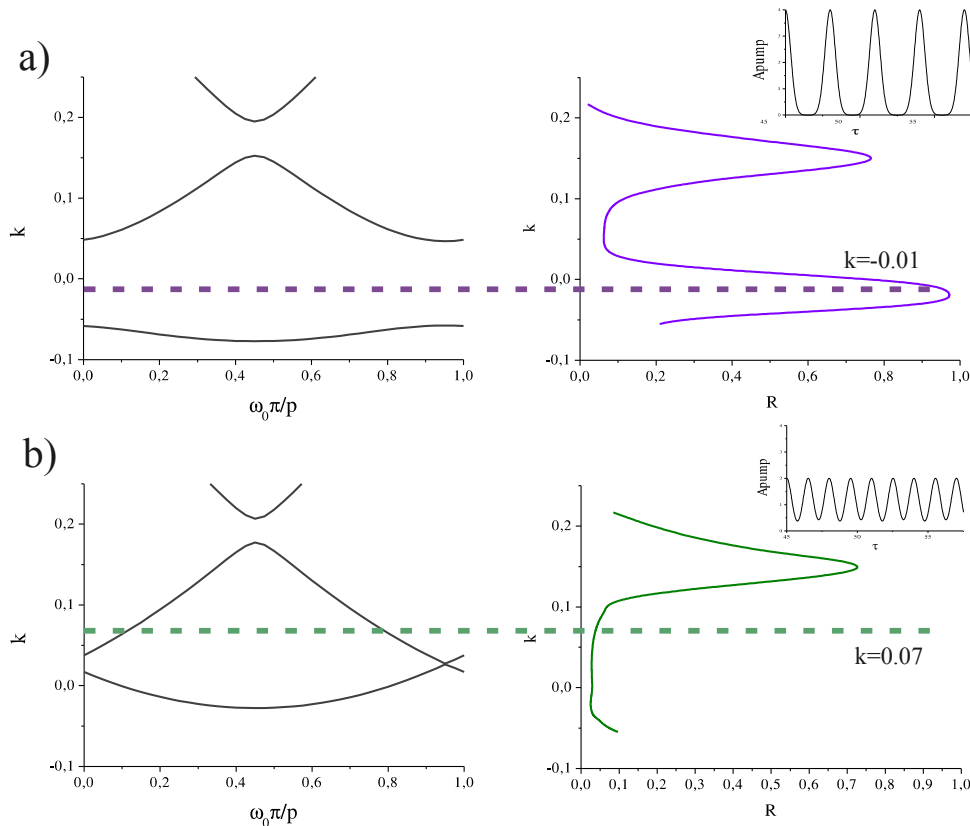


Рис. 1: Дисперсионные кривые для индуцированной решетки (слева) и зависимость коэффициента отражения от волнового вектора (справа) для параметров: а) $t_{pump}/p = 0$; б) $t_{pump}/p = 0.5$. На вставке приведены профили решетки показателя преломления. $T_{11} = T_{12} = 0.5$, $p = 3$, $\nu_{21} = 0.01$, $T_2 = 15.0$, $\gamma_2 = \gamma_3 = 2.5$.

ров, коэффициент отражения для которых практически равен единице, что показано на рис. 1а. В случае $t_{pump} = (n + 1/2)p$, период наведенной неоднородности показателя преломления уменьшается в 2 раза, глубина модуляции показателя преломления также в 2 раза меньше, чем при $t_{pump} = np$. Запрещенные зоны дисперсионной характеристики становятся более узкими (рис. 1б). Таким образом, существует диапазон волновых векторов, при котором сигнальный импульс хорошо отражается от решетки импульсов накачки при $t_{pump}/p = 0$ и слабо отражается при $t_{pump}/p = 0.5$. При $k = 0.07$ сигнальный импульс оказывается в разрешенной зоне при любых параметрах t_{pump} , что соответствует слабому отражению во всем диапазоне времен отставания, при $k = -0.01$ сигнальный импульс распространяется с волновым вектором, попадающим в область запрещенных частот для определенных времен задержки.

Также было исследовано распространение сигнального импульса в рамках динамической модели наведенной решетки показателя преломления, учитывающей изменение профиля неоднородности по мере рас-

пространения сигнала вдоль структуры. При этом период и глубина модуляции неоднородности показателя преломления для сигнала изменяется по мере его распространения вдоль среды, что отражается на соответствующем сдвиге границ запрещенных зон. Следствием чего является возможность расщепления единичного сигнального импульса на последовательность суб-импульсов после прохождения области неоднородности (волновой вектор сигнального импульса попеременно попадает в область в область запрещенных и разрешенных зон). Следовательно, изменяя расстройку групповых скоростей решеток накачки посредством варьирования опорных частот, можно получать различное количество суб-импульсов на сигнальной частоте после прохождения области неоднородности.

Таким образом, нами исследовано взаимодействие мощных лазерных импульсов на близких опорных частотах с слабым сигнальным импульсом в среде с квадратичной нелинейностью. Рассмотрена модель стационарной индуцированной неоднородности, продемонстрировано наличие и границы запрещенных зон для сигнального импульса, изучена их динамика в зависи-

мости от взаимного расположения импульсов первой и второй накачек. Также показано, что учет нестационарности решетки влияет на интенсивность и форму профиля сигнального импульса после рассеяния на ре-

шетке. Продемонстрирована возможность управлением оптическим излучением посредством изменения параметров среды и взаимодействующих импульсов.

-
- [1] *Kurizki G., Kozhekin A., Opatrny T., Malomed B.* Progress in Optics. **42**. P. 93. (2001).
 [2] *Сухорукова А.К., Сухоруков А.П.* Известия РАН. Серия физическая. **69**, № 12. С. 1779. (2005).
 [3] *Pertschetal T.* Optics Letters. **30**, № 2. P. 177. (2005).
 [4] *Lobanov V.E., Sukhorukov A.P.* Phys. Rev. A. **82**. P. 033809. (2010).
 [5] *Сухоруков А.П., Войтова Т.А., Лобанов В.Е., Бугай А.Н., Сазонов С.В.* Известия РАН. Серия физическая. **76**, № 3. С. 350. (2012).
 [6] *Войтова Т.А., Сухоруков А.П.* Известия РАН. Серия физическая. **74**, № 12. С. 1796. (2010).

Interaction of a probe optical signal with quasi-periodic sequence powerful pumping pulses

T.A. Voytova^{1,a}, A.V. Yulin^{1,b}, A.P. Sukhorukov²

¹*ITMO University, St. Petersburg, 197101, Russia*

²*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

E-mail: ^avoytova@physics.msu.ru, ^balex.v.yulin@gmail.com

The interaction of a short optical pulse with refractive index lattice induced in the nonlinear medium by the pulsed quasi-periodic structures at similar frequencies is considered. The results of numerical simulation of reflection, transmission, multiplexing signal pulse into several sub-pulses for different induced gratings are presented.

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

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

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Войтова Татьяна Андреевна — аспирант; тел.: (812) 457-18-46, e-mail: t.voytova@phoi.ifmo.ru.
2. Юлин Алексей Викторович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник; e-mail: alex.v.yulin@gmail.com.