

Оптический журнал

Физическая оптика
Physical optics

DOI: 10.17586/1023-5086-2023-90-05-03-09

УДК 621.373:535

Полностью оптическое формирование свойств трехмерного солитона самоиндуцированной прозрачности в парах ^{87}Rb

Сергей Николаевич Багаев¹, Игорь Борисович Мехов²,
Игорь Анатольевич Чехонин^{3✉}, Михаил Анатольевич Чехонин⁴

¹Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
^{2, 3, 4}Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

¹bagayev@laser.nsc.ru <https://orcid.org/0000-0003-4470-2779>

²mekhov@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0001-9699-8335>

³chehonin@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-6862-6737>

⁴chehonin@bk.ru <https://orcid.org/0009-0003-0182-9267>

Аннотация

Предмет исследования. Трехмерные солитоны теории самоиндуцированной прозрачности лазерных импульсов со сходящимся цилиндрическим волновым фронтом и различными поперечными пространственными профилями поля импульса в парах ^{87}Rb (резонансный переход D_2 , длина волны 780,24 нм). **Цель работы.** Экспериментальное исследование трехмерных солитонов самоиндуцированной прозрачности лазерных импульсов для разработки прототипов новых устройств резонансной радиофотоники с помощью лазерных методов обработки сигналов в сверхвысокочастотном диапазоне спектра. **Метод.** В каустике сфокусированного пучка лазерного импульса накачки с цилиндрическим волновым фронтом создается поперечный пространственный профиль напряженности электрического поля специальной формы. Для создания произвольного профиля могут быть применены разработанные нами компьютерные синтезированные голограммы. **Основные результаты.** Исследованы свойства трехмерного солитона самоиндуцированной прозрачности при различной частотестройке поля входного импульса по отношению к атому резонансу. Максимальная мощность импульса лазера составляла 8,5 мВт, длительность импульса 4–5 нс. Разрешение системы регистрации по времени — 27 пс. Показано, что полностью оптическое управление несущей частотой входного импульса определяет свойства выходного импульса — сжатие длительности импульса (генерация строб-импульса), задержку солитона по времени, смещение во времени несущей частоты солитона. **Практическая значимость.** Полученные в работе результаты исследования свойств трехмерных солитонов самоиндуцированной прозрачности послужат основой для разработки прототипов устройств для обработки оптических сигналов с использованием лазерных диодов малой мощности.

Ключевые слова: самоиндуцированная прозрачность, солитон, радиофотоника, резонансная среда, компьютерная синтезированная голограмма

Благодарность: работа поддержана Российским научным фондом, проект № 17–19–01097.

Ссылка для цитирования: Багаев С.Н., Мехов И.Б., Чехонин И.А., Чехонин М.А. Полностью оптическое формирование свойств трехмерного солитона самоиндуцированной прозрачности в парах ^{87}Rb // Оптический журнал. 2023. Т. 90. № 5. С. 3–9. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2023-90-05-03-09>

Коды OCIS: 060.5530, 050.1590, 060.5625

All-optical shaping of a 3D self-induced transparency soliton in ^{87}Rb vapours

SERGEY N. BAGAEV¹, IGOR B. MEKHOV², IGOR A. CHEKHONIN^{3✉}, MIKHAIL A. CHEKHONIN⁴

¹Institute of Laser Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
^{2, 3, 4}St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

¹bagayev@laser.nsc.ru <https://orcid.org/0000-0003-4470-2779>

²mekhov@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0001-9699-8335>

³chekhonin@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-6862-6737>

⁴chekhonin@bk.ru <https://orcid.org/0009-0003-0182-9267>

Abstract

Subject of study. Three-dimensional solitons of the theory of self-induced transparency of laser pulses with a converging cylindrical wave front and different transverse spatial profiles of the pulse field in ^{87}Rb vapor (resonant transition D_2 , wavelength 780.24 nm). **Aim of study.** Experimental study of three-dimensional solitons of self-induced transparency of laser pulses for development of new devices prototypes for resonant quantum microwave photonics using laser signal processing methods in the microwave region of the spectrum. **Method.** In the caustic of a focused beam of a laser pump pulse with a cylindrical wave front, a transverse spatial profile of the electric field strength of a special shape is created. The computer generated holograms developed by us can be used to create an arbitrary profile. **Main results.** The properties of a three-dimensional self-induced transparency soliton are studied for various detuning frequencies of the input pulse field with respect to atomic resonance. The maximum laser pulse power was 8.5 mW; the pulse duration was 4–5 ns. The time resolution of the recording system is 27 ps. It is shown that the all-optical control of the carrier frequency of the input pulse determines the properties of the output pulse — compression of the pulse duration (generation of a strobe pulse), the value of the soliton delay in time, the time shift of the carrier frequency of the soliton. **Practical significance.** The results obtained in the study of the properties of three-dimensional self-induced transparency solitons will serve as the basis for the development of prototypes of signal processing devices using low-power laser diodes.

Keywords: self-induced transparency, soliton, quantum microwave photonics, resonant medium, computer generated hologram

Acknowledgment: this work was supported by the Russian Science Foundation, project № 17–19–01097.

For citation: Bagaev S.N., Mekhov I.B., Chekhonin I.A., Chekhonin M.A. All-optical shaping of a 3D self-induced transparency soliton in ^{87}Rb vapours [in Russian] // Opticheskii Zhurnal. 2023. V. 90. № 5. P. 3–9. <http://doi.org/10.17586/1023-5086-2023-90-05-03-09>

OCIS codes: 060.5530, 050.1590, 060.5625

ВВЕДЕНИЕ

Эффект самоиндуцированной прозрачности (СП) является классическим эффектом квантовой оптики [1]. Согласно теореме площадей МакКола–Хана [1] «площадь» резонансного оптического импульса, распространяющегося в протяженной поглощающей резонансной среде, в зависимости от своей начальной «площади» асимптотически стремится к одному из значений — $0\pi, \pm 2\pi, \pm 4\pi$ Существенным упрощением теории СП является предположение о том, что входной импульс имеет идеальный плоский волновой фронт (ВФ) и, таким образом, задача становится одномерной. Од-

нако в реальных экспериментах лазерный пучок имеет конечный диаметр и этот факт должен учитываться в обобщенной трехмерной теории СП.

Еще в 1972 г. появились первые эксперименты [2, 3], в которых были обнаружены существенные различия формы экспериментальных импульсов и солитонов СП. Затем теоретически было показано [см., например 4], что солитоны классической теории СП оказываются неустойчивыми, если отказаться от приближения плоской волны.

Вероятно, трехмерные солитоны СП впервые были детально экспериментально исследованы

в работе [5] при сходящемся сферическом ВФ импульса. В последующих теоретических работах теория трехмерных солитонов для такого ВФ с распределением напряженности поля по поперечной радиальной координате в виде функции Гаусса была развита в работах [6–10]. Чтобы отметить факт сверхмалого ослабления энергии импульса при распространении, эффект получил название “*Supertransparency*”. Впоследствии было доказано, что двух- и трехмерные солитоны СП при определенных условиях являются устойчивыми [11].

Было показано, что солитон СП МакКола–Хана в виде 2π -импульса возникает как частный случай обобщенной трехмерной теории СП, если сферический ВФ входного лазерного импульса переходит в плоский ВФ. В соответствии с экспериментом [5] было показано, что несущая частота входного импульса сдвигается в длинноволновую область атомного перехода резонансной среды, после чего импульс меняет свою форму и распространяется в резонансно поглощающей среде на большие расстояния практически без потери энергии.

Было также показано, что определяющие физические эффекты, приводящие к новым солитонным решениям задачи, связаны с эффектами нестационарной резонансной самофокусировки и дефокусировки и к настоящему времени изучены очень детально [см., например 12, 13]. Механизм устойчивости трехмерного солитона СП был назван дисперсионно-дифракционным и не описывается понятиями нелинейной восприимчивости среды (нелинейные коэффициенты преломления и поглощения). Для корректного описания динамики пространственно-временной фазовой модуляции импульса необходимо рассматривать распространение короткого импульса на основе связанных уравнений Максвелла–Блоха [1].

Вновь возникший интерес к систематическому исследованию трехмерных солитонов СП связан с развитием методов полностью оптического формирования характеристик лазерных импульсов для задач обработки сигналов в квантовой резонансной радиофotonике. Интерес к применению специально промодулированных импульсов накачки плотной резонансной среды также связан с обнаружением целого ряда новых эффектов и их приложений [14–16].

Целью данной работы было исследование свойств трехмерных солитонов СП, изучение ко-

торых необходимо для разработки прототипов новых устройств резонансной радиофotonики с помощью лазерных методов обработки сигналов в сверхвысокочастотном диапазоне спектра.

Ниже приводятся экспериментальные данные исследования свойств новых трехмерных солитонов СП, имеющих цилиндрический ВФ с пространственным распределением поля следующих форм: $E(t, x) = E(t)f(x)$ в виде $f(x) = \exp[-(x/\sigma)^2]$ — функции Гаусса или $f(x) = \sin(\beta x)/\beta x$. Здесь x — поперечная координата в фокальной плоскости положительной цилиндрической линзы, фокусирующей лазерный пучок в ячейку с резонансной средой, E — напряженность электрического поля.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Лазерный генератор импульсов выполнен по схеме «задающий генератор — усилитель». Характеристики задающего генератора приведены в статье «Одновременная генерация N когерентных импульсов с различной площадью при самодифракции в парах ^{87}Rb » на стр. 45 этого номера журнала.

В данном эксперименте ступенчатая перестройка частоты задающего генератора происходила в пределах ± 3500 МГц вблизи резонанса линии D_2 ^{87}Rb и проводилась с помощью модуляции тока инжекции лазерного диода. Закон модуляции тока задавался программно в устройстве сбора данных NI USB-6363 в среде LabVIEW.

Непрерывное излучение лазерного диода направлялось по одномодовому световоду в импульсный полупроводниковый лазерный усилитель SOA-780-14BF, который возбуждался с помощью наносекундного генератора тока. Усилитель формировал импульсы накачки с длительностью 4–5 нс и максимальной импульсной мощностью 10 мВт. Энергия импульса не превышала 40 пДж. Частота повторения импульсов составляла 200 кГц.

После усилителя излучение формировалось коллиматором и имело вид параллельного гауссова пучка диаметром 800 мкм и направлялось на оптическую щель с переменной шириной. Необходимый поперечный профиль лазерного пучка накачки $f(x)$ с цилиндрическим ВФ формировался в фокальной плоскости цилиндрической линзы с фокусным расстоянием 100 мм. При пространственном профиле

в виде функции Гаусса размер сфокусированного пучка составлял 20 мкм по поперечной координате x . Распределение $f(x)$ в каутике пучка имело вид $f(x) = \exp[-x/\sigma^2]$, $\sigma = 0,017$ мм.

При формировании с помощью линзы по-перечного пространственного профиля поля $f(x)$ в виде картины дифракции на оптической щели $f(x)$ в фокальной плоскости линзы имело вид $f(x) = \text{sinc}(\beta x)$, ($\beta = 24,3$ мм $^{-1}$).

Сформированный лазерный импульс накачки направлялся в ячейку, содержащую пары изотопически чистого рубидия ^{87}Rb . Концентрация атомов Rb регулировалась температурой холодного отростка ячейки и изменилась в пределах от $1,87 \times 10^{10}$ см $^{-3}$ (температура 32,0 °C) до $4,08 \times 10^{12}$ см $^{-3}$ (98,0 °C). Длина ячейки составляла 75 мм. Лазерный импульс фокусировался на расстоянии 5 мм от выходного окна ячейки.

Лазерный импульс, выходящий из ячейки, фокусировался объективом в одномодовый световод диаметром 10 мкм и направлялся в лавинный фотодиод для регистрации одиночных фотонов.

Импульсы лавинного фотодиода от одиночных фотонов направлялись в многоканальный временной анализатор. Анализатор имел 4096 временных каналов и формировал осциллограмму лазерного импульса в виде временной гистограммы зарегистрированных фотонов — число фотонов на временной канал. Временное разрешение системы регистрации составляло 27 пс.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Трехмерные солитоноподобные импульсы СП были обнаружены в условиях, когда лазерные импульсы накачки имели пространственный профиль в виде функции Гаусса — $f(x) = \exp[-(x/\sigma)^2]$, $\sigma = 0,017$ мм. Концентрация атомов рубидия составляла $8,93 \times 10^{11}$ см $^{-3}$.

Трехмерные солитоны СП также наблюдались и в случае пространственного профиля поля вида $f(x) = \text{sinc}(\beta x)$, ($\beta = 24,3$ мм $^{-1}$). Концентрация атомов рубидия составляла $4,08 \times 10^{12}$ см $^{-3}$.

Импульсы, прошедшие через ячейку с рубидием, анализировались под углом $\phi = 0$. На рис. 1 приведена серия выходных лазерных импульсов при различной отстройке Δv частоты лазера в длинноволновой области спектра от частоты резонанса D_2 ^{87}Rb .

Как следует из данных на рис. 1, на длинноволновом крыле перехода D_2 происходит формирование трехмерного солитоноподобного импульса СП с быстро нарастающим передним фронтом, задержкой во времени и сжатием длительности в 3–4 раза (рис. 2). Энергия выходного импульса равна энергии входного импульса с точностью до нескольких процентов.

Задержка (Δt) солитона во времени мононотонно сокращается вследствие увеличения Δv (рис. 3). Соответственно, скорость солитона возрастает от $c/30$ ($\Delta t = 8$ нс) до $c/6$ ($\Delta t = 1,5$ нс), где c — скорость света в вакууме. При последующем увеличении Δv наблюдается переход временного профиля солитона СП к форме падающего импульса (рис. 1 и кривая 2 на рис. 2).

В соответствии с обобщенной теорией СП (для случая, когда входной импульс имеет сходящийся сферический ВФ), при настройке несущей частоты лазера на коротковолновое

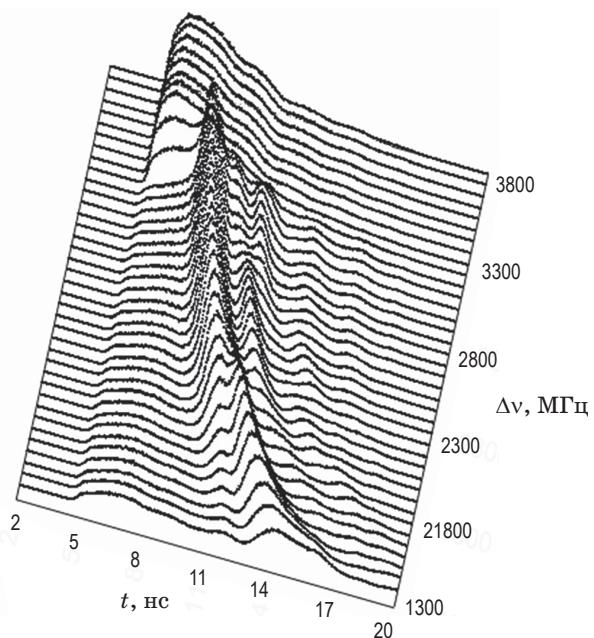


Рис. 1. Зависимость формы выходных импульсов при увеличении расстройки Δv импульса накачки. При $\Delta v > 0$ несущая частота импульса находится в длинноволновой области спектра резонансной линии D_2 . Полная допплеровская ширина линии D_2 ^{87}Rb — $\Delta v_D \approx 500$ МГц

Fig. 1. Dependence of the shape of the output pulses with increasing detuning Δv of the pump pulse. For $\Delta v > 0$, the carrier frequency of the pulse is in the long-wavelength region of the spectrum of the resonance line D_2 ^{87}Rb . Full Doppler linewidth D_2 is $\Delta v_D \approx 500$ MHz

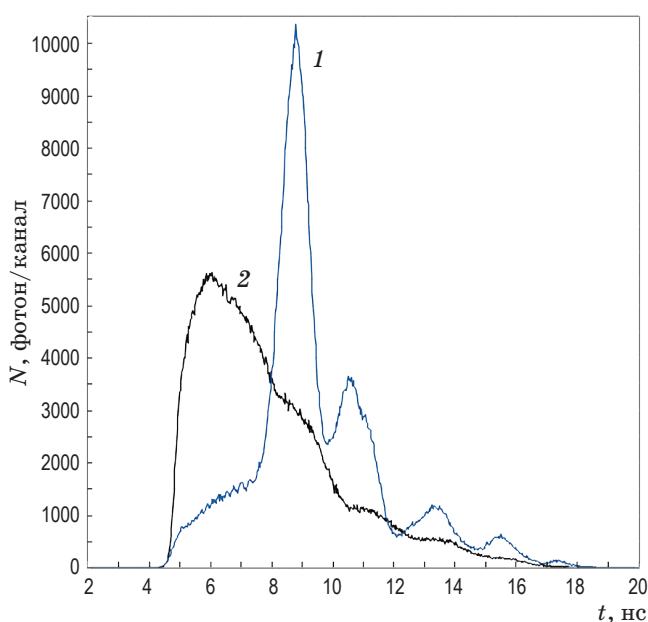


Рис. 2. Формы выходного импульса из ячейки с ^{87}Rb при расстройках 2692 (1) и 3414 МГц (2). При $\Delta v = 2692$ МГц формируется трехмерный солитон СП (1), при $\Delta v = 3414$ МГц солитон СП не формируется (2). По оси ординат отложено число фотонов на временной канал анализатора импульсов

Fig. 2. Output pulse shapes from the cell with ^{87}Rb at detunings (1) 2692 and (2) 3414 MHz. (1) At $\Delta v = 2692$ MHz, a three-dimensional self-induced transparency soliton is formed; (2) at $\Delta v = 3414$ MHz, the self-induced transparency soliton is not formed. The ordinate shows the number of photons per time channel of the pulse analyzer

крыло линии D_2 солитон СП не должен формироваться. Действительно, как следует из данных, приведенных на рис. 4, формирование солитона СП не наблюдается и в том случае, когда импульс имеет цилиндрический ВФ. При приближении несущей частоты импульса к частоте атомного резонанса наблюдается лишь скачкообразное уменьшение скорости нарастания фронта импульса. При этом на его заднем фронте появляются дополнительные осцилляции и происходит уменьшение общей энергии импульса.

Заметим, что в соответствии с классической теорией СП 2π-импульс МакКола–Хана должен возникать при входном лазерном импульсе с плоским ВФ и только в случае точного резонанса частоты поля и частоты атомного перехода ($\Delta v = 0$). Однако, как следует из данных на рис. 4, при $\Delta v = 0$ солитон в эксперименте не наблюдается.

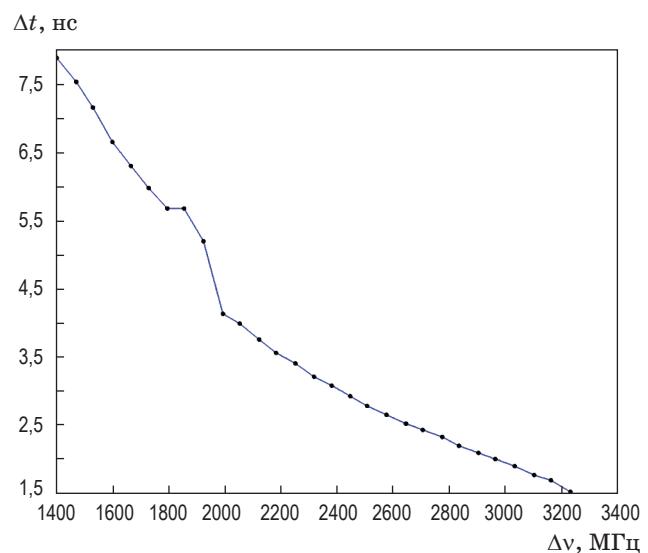


Рис. 3. Зависимость задержки Δt выходного импульса из ячейки с ^{87}Rb от значения расстройки Δv частоты импульса

Fig. 3. Dependence of the delay Δt of the output pulse from the cell with ^{87}Rb on the pulse frequency detuning Δv

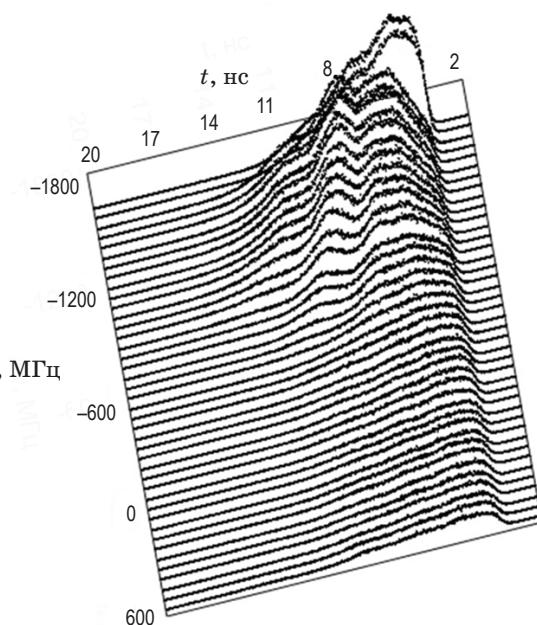


Рис. 4. Зависимость формы выходных импульсов при различных значениях расстройки Δv импульса накачки. При $\Delta v < 0$ несущая частота импульса находится в коротковолновой области спектра резонансной линии D_2 ^{87}Rb

Fig. 4. Dependence of the output pulses shape for different values of the pump pulse detuning Δv . For $\Delta v < 0$, the carrier frequency of the pulse is in the short-wavelength region of the resonance line D_2 ^{87}Rb spectrum

В то же время, как показывают приведенные данные на рис. 1, при входном лазерном импульсе с цилиндрическим ВФ трехмерный солитон СП формируется на длинноволновом крыле резонансной линии D_2 рубидия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Насколько нам известно, в настоящее время существует обобщенная теория эффекта самоиндуцированной прозрачности для трехмерного случая только для входных импульсов, имеющих сходящийся сферический волновой фронт с гауссовым распределением амплитуды поля по поперечной радиальной координате. Фундаментальная теория трехмерных солитонов самоиндуцированной прозрачности для общего случая в настоящее время пока отсутствует.

Как показывают приведенные данные, эффект формирования трехмерных солитоноподобных импульсов самоиндуцированной прозрачности может наблюдаться в более широких экспериментальных условиях. Показано, что эффект самоиндуцированной прозрачности наблюдается также в случае импульсов, имеющих сходящийся цилиндрический волновой фронт, причем, по крайней мере, для двух различных поперечных пространственных профилей $f(x)$: $f(x) = \exp[-(x/\sigma)^2]$ — в виде функции Гаусса и $f(x) = \sin(\beta x)/\beta x$. Также может быть рассмотрен случай произвольного поперечного профиля поля накачки $f(x)$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аллен Л., Эберли Дж. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М.: Мир, 1978. 222 с.
2. Slusher H.E., Gibbs H.M. Self-induced transparency in atomic rubidium // Phys. Rev. A. 1972. V. 5. № 4. P. 1634–1659. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.5.1634>
3. Slusher H.E., Gibbs H.M. Self-induced transparency in atomic rubidium (ERRATA) // Phys. Rev. A. 1972. V. 6. № 3. P. 1255–1257. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.6.1255.3>
4. Большов Л.А., Лиханский В.В. Влияние расстройки резонанса на неустойчивость когерентных импульсов света в поглощающих средах // ЖЭТФ. 1978. Т. 75. № 6(12). С. 2047–2053.
5. Егоров В.С., Реутова Н.М. Об особенностях когерентного распространения импульса сверхизлучения через оптически плотную резонансно-поглощающую среду // Опт. и спектр. 1989. Т. 66. № 6. С. 1231–1234.
6. Козлов В.В., Фрадкин Э.Е. К теории самоиндуцированной прозрачности в сфокусированном световом пучке // Письма в ЖЭТФ. 1991. Т. 54. № 5. С. 266–269. http://www.jetletters.ac.ru/ps/212/article_3542
7. Egorov V.S., Fradkin E.E., Kozlov V.V., et al. Supertransparency of a resonantly absorbing medium for short pulses with a nonplane wave front // Laser Phys. 1992. V. 2. P. 973.

Для создания такого профиля удобно использовать компьютерные синтезированные голограммы с выводом голограммы на пространственный модулятор света. Разработанный нами алгоритм их расчета показывает, что существует возможность сформировать произвольный профиль поля $f(x)$ с динамическим диапазоном по интенсивности излучения, достигающим 10^3 .

В приведенных данных показано, что полностью оптическое управление несущей частотой входного импульса определяет временные характеристики выходного импульса — сжатие длительности импульса (генерация стробимпульса), задержку солитона по времени, смещение во времени несущей частоты импульса.

Перечисленными выше свойствами должны обладать новые устройства квантовой резонансной радиофотоники, использующие полностью оптические лазерные методы обработки сигналов в сверхвысокочастотном диапазоне спектра.

Таким образом, полученные данные исследования свойств трехмерных солитонов самоиндуцированной прозрачности послужат основой для применения лазерных диодов малой мощности (порядка 10 мВт) и с малой энергией импульса (порядка 40 пДж) с целью разработки прототипов различных устройств для обработки сигналов в квантовой резонансной радиофотонике.

REFERENCES

1. Allen L., Eberly J.H. Optical resonance and two-level atoms. N.Y.: Wiley, 1975. 256 p.
2. Slusher H.E., Gibbs H.M. Self-induced transparency in atomic rubidium // Phys. Rev. A. 1972. V. 5. № 4. P. 1634–1659. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.5.1634>
3. Slusher H.E., Gibbs H.M. Self-induced transparency in atomic rubidium (ERRATA) // Phys. Rev. A. 1972. V. 6. № 3. P. 1255–1257. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.6.1255.3>
4. Bol'shov L.A., Likhanskii V.V. Influence of detuning from resonance on the instability of coherent light pulses in absorbing media [in Russian] // ZETF. 1978. V. 75. № 6. P. 2047–2053.
5. Egorov V.S., Reutova N.M. Characteristics of coherent propagation of a superradiant pulse through an optically dense resonantly absorbing medium // Opt. and Spectrosc. 1989. V. 66. № 6. P. 716–718.
6. Kozlov V.V., Fradkin E.E. Theory of self-induced transparency in a focused light beam [in Russian] // Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz. 1991. V. 54. № 5. P. 266–269.
7. Egorov V.S., Fradkin E.E., Kozlov V.V., et al. Supertransparency of a resonantly absorbing medium for short pulses with a nonplane wave front // Laser Phys. 1992. V. 2. P. 973.

8. Козлов В.В., Фрадкин Э.Е. Распространение трехмерного оптического солитона в резонансной газовой среде // ЖЭТФ. 1993. Т. 103. № 6. С. 1902–1913.
9. Kozlov V.V., Fradkin E.E. Distortion of self-induced-transparency solitons as a result of self-phase modulation in ion-doped fibers // Opt. Lett. 1995. V. 20. № 21. P. 2165–2167. <https://doi.org/10.1364/OL.20.002165>
10. Козлов В.В., Фрадкин Э.Е., Егоров В.С. и др. Эффект сверхпрозрачности // ЖЭТФ. 1996. Т. 110. № 5(11). С. 1688–1702.
11. Blaauboer M., Malomed B.A., Kurizki G. Spatiotemporally localized multidimensional solitons in self-induced transparency media // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. № 9. P. 1906–1909. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.1906>
12. Gibbs H.M., Bolger B., Mattar F.P., et al. Coherent on-resonance self-focusing of optical pulses in absorbers // Phys. Rev. Lett. 1976. V. 37. № 26. P. 1743. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.37.1743>
13. Маттар Ф.П., Форстер Г., Тошек П.Э. Когерентная резонансная самофокусировка световых импульсов // Квант. электрон. 1978. Т. 5. № 8. С. 1819–1824.
14. Архипов Р.М., Архипов М.В., Егоров В.С. и др. Излучение резонансной среды, возбуждаемое лазерным излучением с периодической фазовой модуляцией в режиме сильной связи поля и вещества // Опт. и спектр. 2019. Т. 127. № 6. С. 967–974. <http://dx.doi.org/10.21883/OS.2019.12.48694.180-19>
15. Arkhipov R.M., Arkhipov M.V., Egorov V.S., et al. The new ultra high-speed all-optical coherent streak-camera // J. Phys.: Conf. Ser. 2015. V. 643. P. 012029. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/643/1/012029>
16. Bagayev S.N., Averchenko V.A., Chekhonin I.A., et al. Experimental new ultra-high-speed all-optical coherent streak-camera // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1695. P. 012129 (1–6). <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1695/1/012129>
8. Kozlov V.V., Fradkin E.E. Propagation of a three-dimensional optical soliton in a resonant gaseous medium [in Russian] // ZETF. 1993. V. 103. P. 1902–1913.
9. Kozlov V.V., Fradkin E.E. Distortion of self-induced-transparency solitons as a result of self-phase modulation in ion-doped fibers // Opt. Lett. 1995. V. 20. № 21. P. 2165–2167. <https://doi.org/10.1364/OL.20.002165>
10. Kozlov V.V., Fradkin E.E., Egorov V.S., et al. Supertransparency [in Russian] // ZETF. 1996. V. 110. P. 1688–1711.
11. Blaauboer M., Malomed B.A., Kurizki G. Spatiotemporally localized multidimensional solitons in self-induced transparency media // Phys. Rev. Lett. 2000. V. 84. № 9. P. 1906–1909. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.84.1906>
12. Gibbs H.M., Bolger B., Mattar F.P., et al. Coherent on-resonance self-focusing of optical pulses in absorbers // Phys. Rev. Lett. 1976. V. 37. № 26. P. 1743. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.37.1743>
13. Mattar F.P., Forster G., Toschek P.E. Coherent on-resonance self-focusing of optical pulses // Sov. J. Quant. Electron. 1978. V. 8. P. 1032. <https://doi.org/10.1070/QE1978v00n08ABEH010605>
14. Arkhipov R.M., Arkhipov M.V., Egorov V.S., et al. Radiation of a resonant medium excited by a periodically phase-modulated laser in the regime of strong coupling between the field and the matter // Opt. and Spectrosc. 2019. V. 127. № 6. P. 1062–1069. <http://dx.doi.org/10.1134/S0030400X19120038>
15. Arkhipov R.M., Arkhipov M.V., Egorov V.S., et al. The new ultra high-speed all-optical coherent streak-camera // J. Phys.: Conf. Ser. 2015. V. 643. P. 012029. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/643/1/012029>
16. Bagayev S.N., Averchenko V.A., Chekhonin I.A., et al. Experimental new ultra-high-speed all-optical coherent streak-camera // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1695. P. 012129 (1–6). <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1695/1/012129>

АВТОРЫ

Сергей Николаевич Багаев — доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель Института лазерной физики СО РАН, Новосибирск, 630090, Россия; Scopus ID: 7005032723; <https://orcid.org/0000-0003-4470-2779>; bagayev@laser.nsc.ru

Игорь Борисович Мехов — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 198504, Россия; Scopus ID: 6507284221; <https://orcid.org/0000-0001-9699-8335>; mekhov@yahoo.com

Игорь Анатольевич Чехонин — кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 198504, Россия; Scopus ID: 6602545933; <https://orcid.org/0000-0001-6862-6737>; chekhonin@mail.ru

Михаил Анатольевич Чехонин — научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 198504, Россия; Scopus ID: 6503884312; <https://orcid.org/0009-0003-0182-9267>; chekhonin@bk.ru

Статья поступила в редакцию 30.11.2022
Одобрена после рецензирования 03.02.2023
Принята к печати 26.03.2023

AUTHORS

Sergey N. Bagaev — Doctor of Sciences (Habilitation), Professor, Academician of the RAS, Scientific Director of the Institute of Laser Physics of the SB of the RAS, Novosibirsk, 630090, Russia; Scopus ID: 7005032723; <https://orcid.org/0000-0003-4470-2779>; bagayev@laser.nsc.ru

Igor B. Mekhov — Doctor of Sciences (Habilitation), Senior Researcher, St. Petersburg State University, St. Petersburg, 198504, Russia; Scopus ID: 6507284221; <https://orcid.org/0000-0001-9699-8335>; mekhov@yahoo.com

Igor A. Chekhonin — PhD, Associate Professor, Faculty of Physics, St. Petersburg State University, St. Petersburg, 198504, Russia; Scopus ID: 6602545933; <https://orcid.org/0000-0001-6862-6737>; chekhonin@mail.ru

Mikhail A. Chekhonin — Researcher, St. Petersburg State University, St. Petersburg, 198504, Russia; Scopus ID: 6503884312; <https://orcid.org/0009-0003-0182-9267>; chekhonin@bk.ru

The article was submitted to the editorial office 30.11.2022
Approved after review 03.02.2023
Accepted for publication 26.03.2023