

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>

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

⁴chekhonin@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 частоте расстройки поля входного импульса по отношению к атомному 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. CHEKHONIN³✉, MIKHAIL A. CHEKHONIN⁴

¹*Institute 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*

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

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

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

⁴*chekhonin@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 — 0π , $\pm 2\pi$, $\pm 4\pi$ 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 радиофотонике. 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 радиофотоники 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 каустике пучка имело вид $f(x) = \exp[-x/\sigma]^2$, $\sigma = 0,017$ мм.

При формировании с помощью линзы поперечного 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 ⁸⁷Rb. Концентрация атомов Rb регулировалась температурой холодного отрезка ячейки и изменялась 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 $\Delta\nu$ частоты лазера в длинноволновой области спектра от частоты резонанса D_2 ⁸⁷Rb.

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 монотонно сокращается вследствие увеличения $\Delta\nu$ (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 $\Delta\nu$ 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

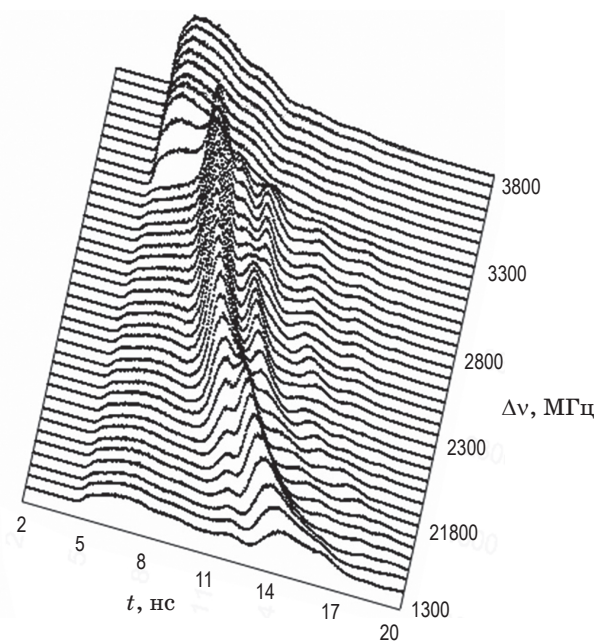


Рис. 1. Зависимость формы выходных импульсов при увеличении расстройки $\Delta\nu$ импульса накачки. При $\Delta\nu > 0$ несущая частота импульса находится в длинноволновой области спектра резонансной линии D_2 . Полная доплеровская ширина линии D_2 ⁸⁷Rb — $\Delta\nu_D \approx 500$ МГц

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

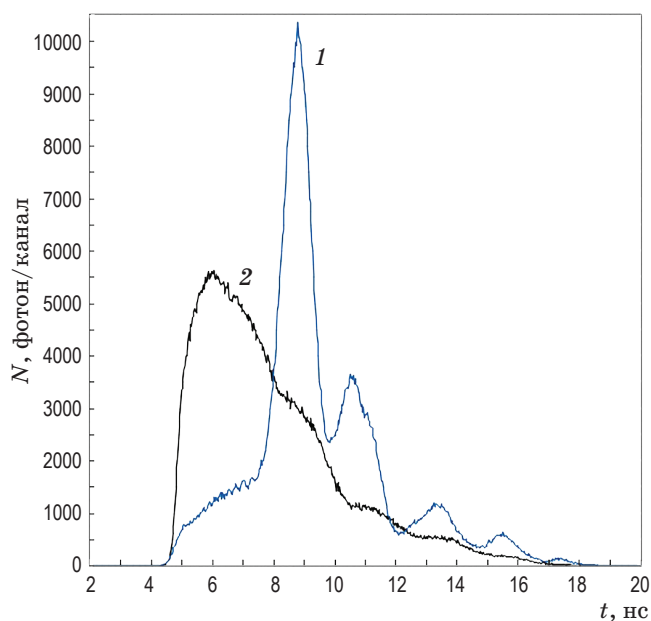


Рис. 2. Формы выходного импульса из ячейки с ^{87}Rb при расстройках 2692 (1) и 3414 МГц (2). При $\Delta\nu = 2692$ МГц формируется трехмерный солитон СП (1), при $\Delta\nu = 3414$ МГц солитон СП не формируется (2). По оси ординат отложено число фотонов на временной канал анализатора импульсов

Fig. 2. Output pulse shapes from the cell with ^{87}Rb at detunings (1) 2692 and (2) 3414 MHz. (1) At $\Delta\nu = 2692$ MHz, a three-dimensional self-induced transparency soliton is formed; (2) at $\Delta\nu = 3414$ 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 ($\Delta\nu = 0$). Однако, как следует из данных на рис. 4, при $\Delta\nu = 0$ солитон в эксперименте не наблюдается.

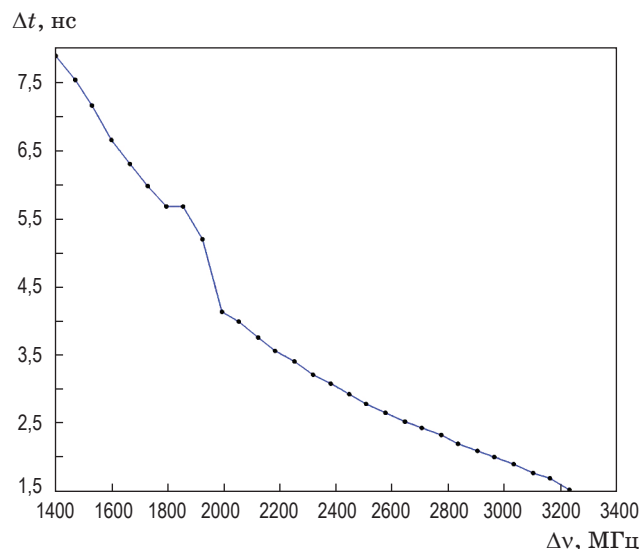


Рис. 3. Зависимость задержки Δt выходного импульса из ячейки с ^{87}Rb от значения расстройки $\Delta\nu$ частоты импульса

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

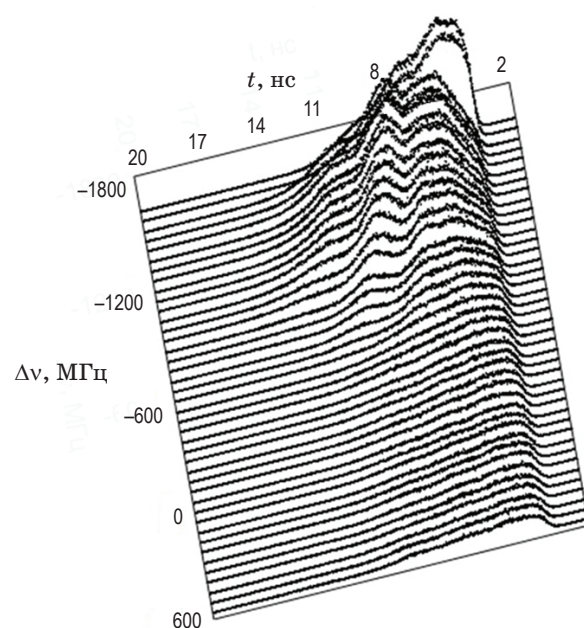


Рис. 4. Зависимость формы выходных импульсов при различных значениях расстройки $\Delta\nu$ импульса накачки. При $\Delta\nu < 0$ несущая частота импульса находится в коротковолновой области спектра резонансной линии D_2 ^{87}Rb

Fig. 4. Dependence of the output pulses shape for different values of the pump pulse detuning $\Delta\nu$. For $\Delta\nu < 0$, 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 $f(x)$.

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 строб-импульса), 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.

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.jetpletters.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.

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., Averbchenko 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/QE1978v008n08ABEH010605>
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., Averbchenko 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

AUTHORS

Sergey N. Bagayev — 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