

01.04.05  
П444

74  
18.3.1999

На правах рукописи

Подошведов Сергей Анатольевич

**НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ОДНОМЕРНЫХ  
МНОГОВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Специальность 01.04.05 — "Оптика"

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Челябинск 1999

Научный  
Читальный зал

Работа выполнена в Вузовско-академическом отделе нелинейной оптики Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук и Южно-Уральского государственного университета.

Научные руководители: чл.-корр. РАН Б.Я. Зельдович,  
д.ф.-м.н. Н.Д. Кундикова

Официальные оппоненты: д.ф.-м.н. А.П. Сухоруков,  
д.ф.-м.н. И.Г. Корепанов

Ведущая организация — Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники.

Защита состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 199\_ г., в \_\_\_ ч., на заседании диссертационного совета Д.200.76.01 при Институте электрофизики УрО РАН по адресу: 620049, г.Екатеринбург, Комсомольская ул., 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института электрофизики УрО РАН.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 199\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

Н.Н. Сюткин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интерес к теоретическим исследованиям нелинейной динамики одномерных многоволновых процессов обусловлен рядом факторов, к важнейшим из которых следует отнести перспективы создания на основе нелинейных волновых процессов новых оптических приборов, устройств и систем передачи информации<sup>1</sup>. Ярким проявлением возможностей нелинейной оптики стало предсказание нового эффекта, имеющего место в различных нелинейно-оптических процессах — эффекта оптического переключения<sup>2</sup>. Для понимания природы этого эффекта необходимо решить и проанализировать в наиболее общем виде системы уравнений, описывающие различные нелинейные взаимодействия, без использования каких-либо упрощающих предположений и допущений. Изучение нелинейных процессов в одномерных оптических смещениях и зависимости энергообмена между световыми волнами от граничных условий представляет интерес как с точки зрения фундаментальной науки, так и в плане практического использования новых физических эффектов.

Нелинейно-оптические процессы могут служить источниками генерации принципиально нового типа света — сжатого света<sup>3</sup>, и в частности, света с сжатыми квантовыми вакуумными шумами. Макроскопические квантовые состояния открывают совершенно новые возможности в оптической обработке информации.

Все вышесказанное определяет актуальность выбранной темы диссертации.

Цель диссертационной работы — исследование нелинейной динамики одномерных многоволновых процессов.

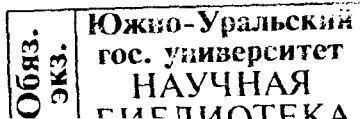
Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Исследование интегрируемых гамильтоновых систем уравнений,

<sup>1</sup>Х. Гиббс, "Оптическая бистабильность: Управление светом с помощью света.", М.: Наука, 1988

<sup>2</sup>А.А. Майер, *Квантовая электроника*, 9, 2296 1982

<sup>3</sup>R.E. Slusher, L.W. Hollberg, B. Yurke., J.C. Mertz, J.F. Vallet, *Physical Review Letters*, 55, 2409, 1985



описывающих одномерные многоволновые процессы в различных нелинейно-оптических средах.

- Исследование генерации света с сжатыми квантовыми вакуумными шумами в двухволновом смешении вырожденных по частоте световых волн, распространяющихся вдоль одномодового волокна с двулучепреломлением.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Исследованы системы уравнений, которые описывают следующие одномерные волновые процессы: трехволновое смешение в квадратично-нелинейной среде с учетом само и кросс фазовой модуляции световых волн, двухволновое смешение волн основной частоты и ее третьей гармоники в кубично-нелинейной среде, попутное и встречное четырехволновые смешения в кубично-нелинейных средах и попутное четырехволновое взаимодействие вырожденных по частоте световых волн в нематических жидких кристаллах.

Получены как аналитические, так и графические решения на фазовой плоскости данных уравнений при произвольных граничных условиях и любых значениях волновых расстройек. Показано, что в зависимости от значения функции Гамильтона  $H$  в общем случае существуют три типа аналитических решений. Доказано, что существует значение функции Гамильтона  $H_{\text{инв}}$ , которое ( $H > H_{\text{инв}}$  или  $H < H_{\text{инв}}$ ) определяет тип аналитического решения.

- Рассмотрен энергообмен между световыми волнами в зависимости от выбора граничных условий, в частности, от распределения полной мощности между волнами и от начальной разности фаз. Найдены условия наиболее яркого проявления данных эффектов. Определены экспериментальные условия, при которых наблюдается эффект оптического переключения в различных средах.
- Исследована эволюция квантовых вакуумных шумов в двухволновом смешении световых волн, распространяющихся вдоль одно-

догового волокна с двулучепреломлением. Найдены нормированные значения квадратурных дисперсий. Показано, что генерация векторного света с сжатыми квантовыми вакуумными шумами зависит от начального распределения полной мощности между волнами.

Практическая ценность. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров среды и излучения в оптических переключающих устройствах. Теоретический подход к решению задач может быть использован для дальнейших исследований нелинейной динамики других одномерных многоволновых процессов и решения прикладных задач. Результаты, полученные при теоретическом рассмотрении распространения квантовых вакуумных шумов в двухволновом смешении, могут быть использованы для генерации векторного света с сжатыми квантовыми вакуумными шумами.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Уравнения, описывающие одномерные многоволновые процессы: трехволновое смешение в квадратурно-нелинейной среде с учетом само и кросс фазовой модуляции, двухволновое взаимодействие волны основной частоты и ее третьей гармоники в кубично-нелинейной среде, попутное четырехволновое взаимодействие вырожденных по частоте световых волн в нематическом жидком кристалле на тепловой нелинейности в общем случае имеют три типа аналитических решения. При произвольных граничных условиях все три типа решений наблюдаются, если в нелинейной динамике при данной волновой расстройке существует неустойчивая собственная мода, которая определяет некоторое пороговое значение функции Гамильтона  $H_{\text{инв}}$ .
- Если граничные условия выбраны так, что значение функции Гамильтона равно  $H_{\text{инв}}$ , то аналитические решения являются неперiodическими и представимы в терминах гиперболических функций. Соответствующие фазовые траектории образуют двухпетле-

вую сепаратриссу на фазовом портрете. В случае если  $H > H_{\text{ин}}$  или  $H < H_{\text{ин}}$  аналитические решения являются периодическими и выражаются с помощью эллиптических функций.

- Появление неустойчивой собственной моды трехволнового смешения в квадратично-нелинейной среде с учетом само и кросс фазовой модуляции волн зависит от бифуркационного параметра, который зависит от значения полной начальной мощности  $P$  ( $\sim \sqrt{P}$ ). Появление неустойчивой моды в волновых смешениях в средах с кубичной нелинейностью не зависит от  $P$ .
- Энергообмен между пучками света в процессе волнового смешения зависит как от начального распределения полной мощности между волнами, так и от начальной разности фаз.
- Генерация света с сжатыми вакуумными флуктуациями в обеих поляризационных компонентах зависит от начального распределения полной мощности между ними. В собственных модах двухволнового смешения происходит генерация света с сжатыми вакуумными флуктуациями в обеих поляризационных компонентах. Если начальное распределение между поляризационными модами выбрано таким образом, что на выходе из волокна происходит переход полной мощности из одной моды в другую, то в одной из поляризационных мод происходит неограниченное сжатие квантовых вакуумных шумов.

Материалы диссертационной работы докладывались на международных конференциях: Дифракционная Оптика '97 (DO'97) в Финляндии в 1997г., Оптика Жидких Кристаллов '97 (OLC'97) в Германии в 1997г., Лазерная Оптика '98 (LO'98) в Санкт-Петербурге в 1998г.; на конференции молодых ученых ИЭФ УрО РАН г.Екатеринбург-1995; а также обсуждались на семинарах ЮУрГУ и ИЭФ УрО РАН.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в одиннадцати публикациях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения,

пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 171 наименований цитируемой литературы и приложения. Полный объем диссертации — 142 страницы, включая 36 рисунков.

#### Основное содержание диссертации.

Во введении представлены общая характеристика работы, цель работы, научная новизна работы, основные положения, выносимые на защиту, практическая ценность и основное содержание диссертации.

В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертации.

В параграфе 1.1 особое внимание уделено изложению основных принципов многоволновых процессов в различных нелинейно-оптических средах. Определен круг задач нелинейной оптики, точное решение которых может привести к предсказанию новых оптических явлений. Приведен обзор работ по обнаружению и наблюдению эффекта переключения в многоволновых процессах.

В параграфе 1.2 представлен обзор математических методов анализа многоволновых процессов в нелинейной и квантовой оптике. Особое внимание уделено использованию функции Гамильтона при анализе нелинейной динамики одномерных многоволновых процессов.

Во второй главе содержатся результаты теоретического исследования нелинейной динамики одномерного трехволнового смешения в квадратично-нелинейной среде с учетом само и кросс фазовой модуляции волн и двухволнового смешения световых волн основной частоты и ее третьей гармоники в кубично-нелинейной среде.

В параграфе 2.1 представлены результаты анализа одномерного трехволнового смешения ( $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ ) в квадратично-нелинейной среде с учетом само и кросс фазовой модуляции волн при наличии на входе среды всех трех волн  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$ , отстройке от синхронизма и произвольных соотношениях фаз волн на входе в среду. На основе функции Гамильтона данного процесса изучены все типы как аналитических, так и графических на фазовой плоскости решений данного волнового процесса. Рассмотрены собственные моды смешения как функции безразмерной волновой отстройки  $k$ . Проведен анализ на устойчивость

собственных мод. Показано, что устойчивость собственных мод зависит от бифуркационного параметра  $\chi$ , который связан с полной входной мощностью световых пучков  $P_{\text{вх}}$  следующим образом:

$$P_{\text{вх}} = \frac{2ca^2\chi^2\lambda_3^3}{9\pi\lambda_1\lambda_2} \left( \frac{\chi^{(2)}}{\chi^{(3)}} \right)^2 \left( \frac{d}{2} \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1\lambda_2} \right) + \frac{1}{\lambda_3} \right), \quad (1)$$

где  $a$  — радиус пучков;  $\chi^{(2)}$ ,  $\chi^{(3)}$  — квадратичная и кубическая нелинейности;  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  — длины волн световых волн, участвующих в процессе. Если величина бифуркационного параметра превышает критическое значение, то при определенных значениях волновых расстройк одна из собственных мод теряет свою устойчивость. Потеря устойчивости в свою очередь ведет к существенному изменению вида фазовых портретов, в частности, к появлению на фазовом портрете в координатах  $(\eta \cos \psi; \eta \sin \psi)$  двухпетлевой сепаратриссы, которая отделяет друг от друга качественно различающиеся решения. Неустойчивая собственная мода наблюдается в данном смещении при  $P_{\text{вх}} > 3 \cdot 10^{10}$  Вт.

Изучена возможность наблюдения эффекта оптического переключения в трехволновом смещении в квадратично-нелинейной среде с учетом само и кросс фазовой модуляции волн. Показано, что для наблюдения переключения лучше использовать среды с значениями квадратичной восприимчивости  $\chi^{(2)} < 10^{-7}$  ед. СГСЭ. Примером таких сред могут являться специально подготовленные оптические волокна, которые в обычном состоянии не обладают квадратичной восприимчивостью, а после обработки лазерным излучением приобретают  $\chi^{(2)} \neq 0$  и в течение некоторого времени становятся квадратично-нелинейными.

В параграфе 2.2 представлены результаты теоретического анализа одномерного двухволнового смещения в кубично-нелинейной среде. Численно найдена зависимость собственных мод системы уравнений от безразмерной волновой расстройки  $k$ . Проведен анализ на устойчивость собственных мод двухволнового смещения. Впервые рассмотрен вопрос неустойчивости собственных мод в двухволновом смещении световых волн в кубично-нелинейной среде при определенных значениях волновых расстройк. Получены все типы аналитических решений данного



волнового процесса. Для двух значений волновых расстройек проанализированы графические решения на фазовой плоскости.

На основе анализа аналитических и графических решений показано, что энергообмен между взаимодействующими световыми волнами существенно зависит как от начального распределения полной мощности между световыми волнами, так и от начальной разности фаз волновых пучков, участвующих в процессе. Представлены численные оценки входной мощности излучения  $P_{\text{вх}}$ , при которых наблюдается эффект переключения в двухволновом смещении волн в оптических волокнах.

В третьей главе диссертации представлены результаты теоретического исследования нелинейной динамики одномерных четырехволновых смещений световых волн в различных нелинейно-оптических средах.

В параграфе 3.1 представлены результаты теоретического исследования нелинейной динамики одномерных четырехволновых смещений световых волн в средах, для которых параметрические и непараметрические процессы обусловлены нелинейным откликом электронов среды в электромагнитном поле. Изучены близкие по своей природе следующие четырехволновые процессы: попутное четырехволновое смещение световых волн основной, стоксовой и антистоксовой частот в одномодовом волокне с двулучепреломлением, встречное четырехволновое смещение невырожденных по частоте световых волн. Показано, что системы уравнений, описывающие эти волновые процессы, могут быть описаны гамильтоновыми уравнениями движения, где функция Гамильтона  $H(\eta, \psi)$  задана в двухмерном фазовом пространстве  $(\eta, \psi)$  ( $\eta$  — составляющая полной мощности в одной из световых волн,  $\psi$  — разность фаз световых волн, участвующих в процессе):

$$\frac{d\eta}{ds} = -\frac{\partial H}{\partial \psi}, \quad (2)$$

$$\frac{d\psi}{ds} = \frac{\partial H}{\partial \eta}, \quad (3)$$

где  $s$  — направление распространения световых волн, нормированное на полную длину среды.

Численно исследована зависимость собственных мод от безразмерной волновой расстройки  $k$ . Проведен анализ на устойчивость собственных мод. Показана возможность существования неустойчивой собственной моды в нелинейной динамике данных четырехволновых смещений при определенных значениях волновых расстроек.

Получены все типы аналитических решений для разных значений функции Гамильтона. Изучены фазовые портреты данных одномерных четырехволновых процессов при различных значениях волновых расстроек.

На основе анализа аналитических и графических на фазовой плоскости решений изучено влияние граничных условий на энергообмен между четырьмя световыми волнами. Показано, что при наличии неустойчивой собственной моды нелинейная динамика четырехволнового смещения очень чувствительна к изменениям как начальной разности фаз  $\psi_0 = \psi(s=0)$ , так и входного распределения полной мощности между волнами. При определенных условиях энергообмен между световыми волнами практически отсутствует, тогда как при изменении  $\psi_0$  на  $\pi$  амплитуда периодических осцилляций величины  $\eta$  резко возрастает.

Изучена возможность наблюдения эффекта переключения в попутном четырехволновом смещении световых волн основной, стоксовой и антистоксовой частот, распространяющихся вдоль одномодового волокна с двулучепреломлением. При начальной полной мощности световых волн  $P_{\text{вх}} \approx 20$  Вт данный эффект наблюдается на выходе из волокна длиной  $\approx 3 \cdot 10^2$  м.

Показано, что в кубично-нелинейной среде посредством изменения начальной разности фаз можно управлять эффективностью обращенной волны в одномерном встречном четырехволновом смещении световых волн, невырожденных по частоте.

В параграфе 3.2 рассмотрено одномерное попутное четырехволновое

взаимодействие вырожденных по частоте световых волн на тепловой нелинейности нематического жидкого кристалла. Показано, что уравнения, описывающие четырехволновое смешение световых волн, вырожденных по частоте, в средах с диагонально-биполярной нелинейностью, являются гамильтоновыми. Соответствующая функция Гамильтона  $H(\psi, \eta)$  может быть записана в виде

$$H = \cos \psi \sqrt{\eta(d_1 + \eta)(1 - d_1 + d_2 - 2\eta)(1 - d_1 - d_2 - 2\eta) - \frac{A}{2}\eta^2 + (B + k)\eta}, \quad (4)$$

где  $d_1, d_2$  — нормированные интегралы движения;  $A$  и  $B$  — постоянные значения, определяемые параметрами среды и геометрией эксперимента. Уравнения, описывающие нелинейную динамику одномерного четырехволнового смешения в нематическом жидком кристалле могут быть представлены в следующем виде:

$$\frac{d\eta}{ds} = -\frac{\partial H}{\partial \psi}, \quad (5)$$

$$\frac{d\psi}{ds} = \frac{\partial H}{\partial \eta}. \quad (6)$$

Показана возможность наблюдения неустойчивой собственной моды в данном волновом процессе при определенных волновых расстройках, в частности, при нулевой расстройке. Найдены все типы аналитических решений при разных значениях волновых расстройек  $k$  функции Гамильтона. Изучены фазовые портреты, графически описывающие нелинейную динамику попутного четырехволнового смешения в нематиках как при полном синхронизме между волновыми векторами световых волн, так и при отстройке от синхронизма. Показано, что форма двухпетлевой сепаратриссы зависит от значений коэффициентов  $A$  и  $B$  в гамильтониане (4).

Изучено влияние начальной разности фаз на энергообмен между волнами. Впервые рассмотрена возможность наблюдения эффекта оптического переключения в попутном четырехволновом смешении в нематических жидких кристаллах. Эффект переключения наблюдается на

выходе из образца толщиной 100 мкм при начальной полной мощности  $P_{\text{вх}} \approx 3 \cdot 10^2$  Вт в стационарном режиме и при  $P_{\text{вх}} \approx 3 \cdot 10^5$  Вт в переходном режиме. Данный процесс можно использовать для создания оптических переключающих устройств на жидких кристаллах.

В четвертой главе представлены результаты теоретического анализа эволюции квантовых вакуумных шумов в двухволновом смешении при распространении векторного поля вдоль оптического волокна с двулучепреломлением.

В параграфе 4.1 представлены результаты теоретического исследования эволюции вакуумных квантовых шумов в двухволновом смешении в двулучепреломляющем волокне. Рассмотрена задача о распространении и взаимодействии квантовых операторов двух поляризационных мод, вырожденных по частоте, распространяющихся вдоль одномодового волокна с двулучепреломлением.

$$\frac{d\hat{A}_x}{dz} = \frac{iR}{3} \hat{A}_x^+ \hat{A}_y^2 \exp(i\Delta kz) + iR(\hat{A}_x^+ \hat{A}_x + \frac{2}{3} \hat{A}_y^+ \hat{A}_y) \hat{A}_x, \quad (7)$$

$$\frac{d\hat{A}_y}{dz} = \frac{iR}{3} \hat{A}_y^+ \hat{A}_x^2 \exp(-i\Delta kz) + iR(\frac{2}{3} \hat{A}_x^+ \hat{A}_x + \hat{A}_y^+ \hat{A}_y) \hat{A}_y, \quad (8)$$

где  $\hat{A}_x$ ,  $\hat{A}_x^+$  и  $\hat{A}_y$ ,  $\hat{A}_y^+$  — операторы рождения и уничтожения фотонов, поляризованных вдоль  $x$  и  $y$  направлений;  $z$  — направление распространения световых волн;  $R = \nu(2\hbar\omega)/(\epsilon_0 V)$  — нелинейный коэффициент связи;  $\nu = (n_2\omega)/(cA)$ ;  $n_2 = 2.3 \cdot 10^{-22}$  м<sup>2</sup>/В<sup>2</sup> — нелинейный коэффициент Керра;  $c$  — скорость света в вакууме;  $\hbar$  — постоянная Планка;  $V$  — объем квантования;  $\omega$  — частота световых волн;  $A$  — эффективная площадь поперечного сечения волокна;  $\Delta k = 2(k_y - k_x)$  — волновая расстройка;  $k_x$  и  $k_y$  — постоянные распространения мод.

Предложена линеаризованная модель анализа эволюции квантовых вакуумных шумов в двухволновом смешении световых волн при распространении света в одномодовых волокнах с двулучепреломлением. Согласно этой модели квантовые операторы  $\hat{A}_x$  и  $\hat{A}_y$  можно представить в следующем виде:

$$\hat{A}_x = \langle \hat{A}_x \rangle + \hat{a}_x, \quad (9)$$

$$\hat{A}_y = \langle \hat{A}_y \rangle + \hat{a}_y, \quad (10)$$

где  $\langle \hat{A}_x \rangle$ ,  $\langle \hat{A}_y \rangle$  — классические значения напряженностей векторного электромагнитного поля;  $\hat{a}_x$ ,  $\hat{a}_y$  — операторы, описывающие эволюцию квантовых вакуумных шумов в двухволновом смещении. Такое представление позволяет систему уравнений (7,8) свести к двум системам, совместное решение которых описывает эволюцию квантовых вакуумных шумов в двухволновом смещении световых волн.

Учет граничных условий позволил получить соотношения, связывающие значения нормированных дисперсий квадратур в обеих поляризационных модах на входе и выходе волокна. Аналитически решена система уравнений для квадратурных компонент поляризационных мод в случае отсутствия энергообмена между поляризационными модами (устойчивые собственные моды двухволнового смещения). Найдены значения нормированных дисперсий квантовых шумов в устойчивых собственных мод двухволнового смещения. Численно решены системы уравнений, описывающие эволюцию квадратурных мод поляризационных мод в случае произвольного начального распределения полной мощности между поляризационными компонентами векторного поля.

Показано, что в случае собственных мод шумы измерительной системы, реагирующей лишь на одну из квадратур поляризационной моды, оказываются ниже вакуумных при регистрации волн на выходе из волокна. Показано, что сжатыми становятся обе поляризационные моды. Показано, что наибольшего квадратурного сжатия вакуумных квантовых шумов в обеих поляризационных модах может быть достигнуто, если выбрать граничные условия таким образом, чтобы соответствующая им начальная точка на фазовом портрете лежала точно на сепаратрисе.

Двухволновое смещение в одномодовом волокне с двулучепреломленным можно использовать для генерации света с сжатыми вакуумными флуктуациями в обеих поляризационных модах. Возможность реализации относительно простого эксперимента по генерации квантовых сжатых состояний света с помощью высокостабильного He — Ne лазера

подтверждается численными оценками.

В приложении (пятая глава диссертации) представлены все типы аналитических решений, которые наблюдаются в изучаемых гамильтоновых интегрируемых системах. Показано, что в зависимости от значения функции Гамильтона существует один из трех типов аналитических решений. Показано, что аналитические решения, соответствующие фазовым траекториям, которые образуют двухпетлевую сепаратриссу, выражаются с помощью гиперболических функций. Всем замкнутым траекториям на фазовой плоскости соответствуют аналитические решения представимые в виде комбинации эллиптических функций Якоби.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации:

1. Исследованы интегрируемые гамильтоновые системы уравнений, которые описывают одномерные одномерные многоволновые процессы: трехволновое смешение в квадратично-нелинейной среде с учетом само- и кросс-фазовой волн, двухволновое взаимодействие волн основной частоты и ее третьей гармоники в кубично-нелинейной среде, попутное и встречное четырехволновое смешения в кубично-нелинейных средах и попутное смешение вырожденных по частоте световых волн в нематических жидких кристаллах. Получены все типы аналитических решений при произвольных граничных условиях и любых значениях фазовых расстройек.

2. Проанализированы графические решения системы уравнений, которые описывают трехволновое смешение в квадратично-нелинейной среде с учетом само и кросс фазовой модуляции. Показано, что при изменении начальной полной мощности световых волн, участвующих в процессе, выше критического значения наблюдается неустойчивая собственная мода в данном смешении.

3. Изучена нелинейная динамика одномерного двухволнового смешения световых волн основной частоты и ее третьей гармоники в кубично-нелинейной среде. Получены графические решения на фазовой плоскости системы уравнений, описывающей данный волновой про-

цесс. Рассмотрен эффект оптического переключения в данном двухволновом смешении. Обнаружена зависимость энергообмена между световыми волнами от начальной разности фаз.

4. Исследована система уравнений, описывающая процесс попутного четырехволнового смешения световых волн основной, стоксовой и антистоксовой частот ( $2\omega_0 = \omega_s + \omega_a$ ) в одномодовом волокне с двулучепреломлением и встречного четырехволнового взаимодействия в кубично-нелинейной среде. Получены как графические на фазовой плоскости, так и аналитические решения систем уравнений, описывающих нелинейную динамику одномерного попутного и встречного четырехволновых смешений в кубично-нелинейных средах. Показано существование неустойчивых мод в данных волновых смешениях и, как следствие, солитоноподобных решений. Показано, что энергообмен между световыми волнами зависит как от начального распределения полной мощности между световыми волнами, так и от начальной разности фаз.

5. Исследовано четырехволновое смешение вырожденных по частоте волн в нематических жидких кристаллах. Впервые получены как графические на фазовой плоскости, так и аналитические решения в случае как полного синхронизма, так и отстройки от синхронизма. Исследован эффект оптического переключения в нематических жидких кристаллах. Обнаружено влияние начальной разности фаз на энергообмен между волнами.

6. Изучена математическая модель эволюции квантовых операторов поляризационных мод с учетом энергообмена между модами и волновой расстройки между волновыми векторами световых волн, распространяющихся вдоль одномодового волокна с двулучепреломлением. Показана возможность генерации векторного светового поля с вакуумными квадратурно-сжатыми поляризационными модами в собственных мод двухволнового смешения.

7. Изучена возможность сжатия квантовых вакуумных шумов в поляризационных модах при произвольных граничных условиях. Показано, что степень сжатия квантовых вакуумных шумов в поляризацион-

ных модах зависит от выбора начального распределения полной мощности между волнами и начальной разности фаз между поляризационными компонентами света.

Основные результаты диссертации изложены в работах:

1. Подошведов С.А., Подгорнов Ф.В., Двухволновое смешение в кубично-нелинейной среде. Собственные моды, пространственная неустойчивость, бифуркации// *Оптика и спектроскопия*, 1996, 81, N 3, С.450-452.

2. Подошведов С.А., Оптическое переключение энергии при трехволновом смешении в квадратично-нелинейных средах// *Оптика и спектроскопия*, 1997, 82, N 2., С.295-298.

3. Podoshvedov S.A., Two-wave mixing of the fundamental and its third-harmonic: eigenmodes, spatial instabilities and optical switching// *Optics Communications*, 1997, 142, P.79-83.

4. Подошведов С.А., Проявление оптического переключения энергии при попарно встречном четырехволновом взаимодействии// *Оптика и спектроскопия*, 1997, 83, N 6, С.955-960.

5. Podoshvedov S.A., Theory of four-wave mixing in a media with diagonal-bipolar nonlinearity: eigenmodes, their instabilities, bifurcations, optical switching// *Technical Digest of Topical Meeting on Diffractive Optics*, DO'97, Savonlina, July 1997, 12, P.126-127.

6. Подошведов С.А., Появление пространственной неустойчивости при параметрическом четырехволновом взаимодействии с диагонально-биполярным откликом среды// *Письма в ЖТФ*, 1997, 23, Вып. 6, С.61-63.

7. Подошведов С.А., Поляризационное переключение при попутном четырехволновом взаимодействии световых волн в двулучепреломляющих волокнах// *Письма в ЖТФ*, 1997, 23, Вып. 7, С.91-93.

8. Podoshvedov S.A., Podgornov F.V., Peculiarity of exchange among four unidirectional light waves in nematic liquid crystal under exciting thermal static lattices:eigenmodes, their instability, bifurcations and optical switching// *Topical International Meeting on Optics of Liquid*



Crystals, LC'97, Germany, September 1997 Book of abstracts, P.88.

9. Podoshvedov S.A., Four-wave mixing of fundamental, Stokes, and anti-Stokes waves in a single-mode birefringent fiber: influence of initial conditions on energy exchange among the waves// IX International Conference on Laser Optics, LO'98, S-Petersburg, June 1997 Technical Program, P.43.

10. Подошведов С.А., Генерация квадратурно-сжатого света при распространении световой волны в двулучепреломляющем волокне// *Письма в ЖЭТФ*, 1998, **67**, N 11, С.881-886.

11. S.A. Podoshvedov, Podgornov F.V., Peculiarities of energy exchange among four light waves spreading forward in media with diagonal-bipolar response: eigenmodes, spatial instability and optical switching// *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 1998, **321**, P.97-112.

