

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В. ЛОМОНОСОВА (МГУ) Ленинские горы, Москва, ГСП-1, 119991 Тел.: 939-10-00, 203-65-65 Факс: 939-01-26 № _____	“Утверждаю” Проректор Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова  профессор А. Федянин “<u>25</u>” <u>Октября</u> 20<u>21</u> 
На № _____	

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу Гаврилова Сергея Сергеевича "Новые коллективные состояния поляритонов", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8.– «Физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа С.С. Гаврилова посвящена теоретическому исследованию неравновесных переходов, происходящих в резонансно возбуждаемой системе экситонных поляритонов. Представляя собой связанные состояния света и вещества, поляритоны привлекают большой интерес с точки зрения создания компактных и быстродействующих оптических устройств наподобие логических элементов или ячеек памяти. Сочетание межчастичного взаимодействия, которое характерно для обычных бозе-эйнштейновских конденсатов, и возможности прямого оптического возбуждения приводит к появлению в такой системе новых и необычных коллективных явлений, допускающих возможность прямой экспериментальной проверки. В связи с этим тема диссертационной работы является актуальной и представляет широкий интерес.

Диссертантом получен ряд принципиально новых результатов, связанных с эффектами петлевого параметрического рассеяния, спонтанного нарушения симметрии,

перехода к хаосу и вторичного упорядочения в поляритонной системе, возбуждаемой плоской электромагнитной волной. Полученные результаты расширяют понимание природы поляритонных систем и могут найти применение в области создания новых источников когерентного излучения со свойствами детерминированного хаоса.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Во введении дается общая характеристика работы. Первая глава посвящена эффекту параметрического рассеяния поляритонов. На примере скалярной, т.е. эффективно бесспиновой поляритонной системы построена теория параметрического рассеяния, учитывающая обратное воздействие рассеянных поляритонных мод на конденсат (макроскопически когерентную фотовозбуждаемую поляритонную моду) в рамках приближения среднего поля. Предсказано, что в условиях положительной отстройки частоты возбуждения от резонанса между рассеянными модами и конденсатом образуется положительная обратная связь, приводящая к эволюции системы в "режиме с обострением", т.е. гиперболическому росту амплитуды конденсата, оканчивающемуся с переходом системы на верхнюю ветвь устойчивости. Приводятся экспериментальные данные, непосредственно подтверждающие теорию. Предсказано макроскопическое петлевое рассеяние поляритонов в микрорезонаторе с пониженной вращательной симметрией (на примере квадратной мезы), которое приводит к автоколебаниям амплитуды конденсата.

Во второй главе рассматриваются явления, связанные со спиновыми степенями свободы поляритонов в условиях резонансно-оптического возбуждения. В случае эллиптической поляризации внешнего поля может одновременно существовать несколько ветвей устойчивого отклика поляритонной системы. В диссертации рассматриваются различные механизмы переходов между ними при плавном изменении внешних условий. Центральное место второй главы занимает вопрос о спонтанном нарушении спиновой симметрии в ситуации, когда обе спиновые компоненты поляритонов эквивалентны и возбуждаются одинаковым образом. Показано, что нарушение симметрии приводит к переходу системы из состояния с линейной поляризацией в состояние с почти полной круговой поляризацией. Далее рассматриваются различные наблюдаемые проявления данного эффекта (при импульсном фотовозбуждении, с учетом магнитного поля, с учетом пространственной неоднородности накачки и т.д.). Продемонстрировано хорошее качественное согласие расчетов и экспериментальных данных. В конце главы обсуждается влияние экситонного резервуара на критические точки переходов.

В третьей главе обсуждается новый вид параметрической неустойчивости, при котором парное кулоновское взаимодействие и линейная связь спиновых компонент поляритонов образуют гибридный параметрический процесс более высокого порядка. В результате все одномодовые состояния системы, в которых импульс и частота осцилляций конденсата принимают какие-либо определенные значения, оказываются неустойчивыми несмотря на строгую однородность как микрорезонатора, так и внешнего поля. В связи с этим возникает новый круг явлений, связанных с процессами самоорганизации

поляритонной системы после распада однородных состояний. Третья глава содержит описание различных типов решений в зависимости от пространственной размерности системы: автоколебаний и хаоса (в микростолбиках), спиновых цепочек (в квазиодномерной системе) и филаментов (в обычном плоском микрорезонаторе). Показано, что в определенных условиях упорядоченная и хаотическая подсистемы могут существовать одновременно, приводя к появлению так называемых химерных динамических состояний.

Четвертая глава посвящена вопросу о формировании вихрей и темных солитонов в условиях одномодового резонансного возбуждения. Ранее долгое время считалось, что образование таких возбуждений требует наличия в системе или конечных флуктуаций, или определенных дефектов структуры. В диссертации описывается новый механизм образования вихрей, обусловленный эффектом фазовой мультистабильности. В этом случае в системе спонтанным образом образуются домены, имеющие противоположные фазы и, следовательно, гасящие друг друга в областях пространственного контакта. Темные солитоны и вихри образуются на границе между доменами. Показано, что изменение амплитуды внешнего поля приводит к связыванию вихрей по аналогии с переходом Березинского-Костерлица-Таулеса.

В пятой главе рассматриваются акустооптические явления в поляритонной системе, связанные с "акустическим" возмущением собственной энергии поляритонов при строго непрерывной оптической накачке. Рассматриваются два механизма акустического возмущения. Первый обусловлен очень короткими деформационными импульсами, распространяющимися перпендикулярно поверхности микрорезонатора, в результате чего собственная энергия испытывает заметное смещение на масштабе времени жизни поляритона. Приводится теоретическая работа, предсказывающая необратимое переключение оптического отклика в результате прохождения подобного импульса. Далее сообщается о недавних экспериментах, прямо подтверждающих это предсказание. Также предсказывается аналогичный эффект акусто-индуцированной инверсии круговой поляризации в системе с нарушенной спиновой симметрией. Второй круг акустооптических явлений связан с возбуждением в микрорезонаторе поверхностных акустических волн, приводящих к периодической модуляции энергии экситона в плоскости активного слоя. Показано, что, возбуждая акустические волны, можно локальным образом контролировать критические точки мультистабильности и параметрического рассеяния.

Таким образом, автором получен ряд красивых и важных результатов для системы нелинейных экситон-поляритонов при резонансном возбуждении. Можно выделить следующие основные результаты диссертации.

1. Показано, что положительная обратная связь между поляритонным конденсатом и рассеянными модами приводит к "режиму с обострением" перехода системы на верхнюю ветвь устойчивости.

2. Показано, что в случае пониженной вращательной симметрии системы параметрическое рассеяние может иметь петлевой характер, что приводит к возникновению автоколебаний амплитуды конденсата.

3. Обнаружен новый механизм "гибридного" поляритон-поляритонного рассеяния (при условии, что константа связи спиновых компонент превосходит коэффициент затухания более чем вчетверо), при котором поляритонный конденсат даже с чисто циркулярной поляризацией и нулевым волновым числом рассеивается в состояния с противоположной поляризацией.

4. Показано, что гибридное рассеяние может приводить к неустойчивости всех однородных состояний конденсата, к спонтанному образованию неоднородных пространственных структур с периодически распределенной поляризацией и, при повышении энергии возбуждения, к химерным состояниям с сосуществующими упорядоченной и хаотической подсистемами.

Имеются некоторые замечания к диссертации и пожелания.

1. В главе 1, посвященной параметрическому рассеянию экситон-поляритонов в скалярном приближении, эффекты поляритонной бистабильности во внешнем резонансном электромагнитном поле и анализ устойчивости решений проводится в поляритонном базисе с учетом только нижней поляритонной ветви - уравнения (1.11), (1.20). Однако более последовательным, если уж используется поляритонный базис, было бы учитывать обе поляритонные ветви. Или, как, собственно, и было исходно сделано в работе [25], использовать фотон-экситонный базис, кстати, более удобный для описания взаимодействия с внешним полем. Такой подход, кстати, используется автором в главе 2 при описании мультистабильности – уравнения (2.18)-(2.20). Автору следовало бы проанализировать область применимости такого упрощенного описания.

2. В диссертации подробно изучены особенности поведения экситон-поляритонов – нелинейных осцилляторов – под действием резонансного внешнего возбуждения. Однако не меньший интерес представляет и свободная эволюция системы нелинейных осцилляторов, зависящая только от их начального состояния. Например, в относительно недавней работе [A. A. Demenev et al., Phys. Rev. B 96, 155308 (2017)], с помощью псевдоспиновой модели были исследованы стационарные спиновые состояния нелинейного конденсата поляритонов и динамика прецессии псевдоспина свободного конденсата вокруг этих стационарных состояний. Интуитивно чувствуется, что эти свойства свободно эволюционирующего конденсата могут быть связаны с особенностями его поведения при резонансном внешнем возбуждении. Пожелание автору – исследовать в дальнейшем и эту сторону задачи.

3. При анализе различных мультистабильных режимов в случае двух связанных поляритонных мод с различной поляризацией («псевдоспин») во внешнем резонансном поле не определены границы области существования каждого мультистабильного режима, то есть критические значения поля накачки при заданной расстройке, нелинейности, константе связи между модами и величине затухания.

4. Аналогия между образованием связанных вихревых состояний в поляритонной системе с двумя различными поляризациями и фазовым переходом Березинского-Костерлица-Таулеса представляется не совсем ясной. Утверждать о наличии указанной аналогии нельзя без анализа поведения корреляционных функций поляритонных полей (экспоненциального или степенного?).

5. Почему найденные автором в главе 4 самоподдерживающиеся нелинейные решения названы солитонами, а не автоволнами?

Сделанные замечания не изменяют общую положительную оценку работы и не снижают ее научной ценности.

В целом, диссертация С.С. Гаврилова является самостоятельным завершенным оригинальным научным исследованием, достоверность результатов и обоснованность выводов не вызывают сомнений. Достоверность полученных результатов основывается на надежности и обоснованности применяемых методов, экспериментальным подтверждением значительной части полученных автором результатов. Полученные в диссертации результаты являются новыми, что подтверждается их опубликованием в виде 34 статей в ведущих российских и международных рецензируемых журналах из списка Web of Science, в том числе в Письмах в ЖЭТФ, УФН, Physical Review B, Physical Review Letters. Результаты работы докладывались на многих престижных российских и международных семинарах и конференциях.

Полученные в диссертации результаты соответствуют специальности 1.3.8. - Физика конденсированного состояния. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

По актуальности тематики, обоснованности выводов, новизне положений и достоверности полученных результатов диссертационная работа С.С. Гаврилова «Новые коллективные состояния поляритонов» полностью отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 11.09.2021), а ее автор, Гаврилов Сергей Сергеевич, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. – физика конденсированного состояния.

Доклад С.С. Гаврилова по материалам диссертации заслушан и обсужден на семинаре кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ 27 сентября 2021 г. № 873. На семинаре присутствовало 20 человек. Из них д.ф.-м.н. 6 чел. , к.ф.-м.н. - 10 чел. Отзыв подготовлен доцентом кафедры квантовой электроники, доктором физико-математических наук Масловой Натальей Сергеевной и утвержден на заседании кафедры 25 октября 2021 г., протокол № 6.

Доцент кафедры квантовой электроники
физического факультета МГУ

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.09 - Физика низких температур), доцент

Наталья Сергеевна Маслова

Адрес: г. Москва, 119991, Ленинские горы, д.1

Тел. +7-(495)-939-25-02

E-mail: nsmaslova@gmail.com

Согласна на передачу персональных данных.

Н. С. Маслова

Заведующий кафедрой квантовой электроники
физического факультета МГУ
профессор,
доктор физико-математических наук

Владимир Иванович Панов

Подписи Н.С. Масловой и В.И. Панова удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета Физического факультета МГУ,
профессор, доктор физико-математических наук,
профессор кафедры общей физики
Караваев Владимир Александрович
«25» октября 2021

