

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертационной работе Гаврилова Сергея Сергеевича «Новые коллективные состояния поляритонов», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8.–Физика конденсированного состояния

Диссертация Сергея Сергеевича Гаврилова «Новые коллективные состояния поляритонов» посвящена нелинейно-динамическим явлениям в низкоразмерных гетероструктурах (планарных полупроводниковых микрорезонаторах) в условиях сильной экситон-фотонной связи, приводящей к образованию экситонных поляритонов. В последние годы неуклонно растет число научных работ, посвященных низкоразмерным поляритонным системам, в которых рассматриваются явления бозе-эйнштейновской конденсации, параметрического рассеяния, мультистабильности, спиновых переходов. Подобные эффекты привлекают большой интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. С одной стороны, поляритоны образуют макроскопически когерентные состояния с необычными свойствами, которые могут непосредственно контролироваться лазерным излучением. Одновременно с этим поляритонные системы представляют и практический интерес, обусловленный сочетанием очень малых (пикосекундных) характерных времен неравновесных переходов и пространственной компактности активных областей в гетероструктурах. Это определяет высокую **актуальность** диссертации С.С. Гаврилова, целью которой было теоретическое исследование неравновесных фазовых переходов и образующихся в их результате новых коллективных состояний квазидвумерных и квазиодномерных поляритонных систем в условиях резонансного фотовозбуждения.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Во введении дана общая характеристика работы, указаны ее цели, перечислены защищаемые положения и приведено краткое содержание. **Первая глава** диссертации посвящена наиболее простому случаю динамики поляритонов без учета спина. Рассматривается базовая модель поляритонной системы под действием внешнего электромагнитного поля с частотой чуть выше основного поляритонного состояния. Обсуждается S-образная зависимость интенсивности фотовозбуждаемой поляритонной моды (неравновесного конденсата) от мощности накачки и дается физическая интерпретация эффекта бистабильности. Далее в первой главе описывается оригинальный результат, касающийся динамики поляритонной системы в режиме «с обострением». Характерной особенностью этого процесса является гиперболическая динамика, при которой медленные изменения, происходящие в течение довольно долгого времени при постоянных внешних условиях, оканчиваются скачкообразным изменением состояния системы и ее переходом на верхнюю ветвь устойчивости. Рассматривается экспериментальное подтверждение данного эффекта, полученное в условиях импульсной накачки, и делаются дальнейшие теоретические предсказания о его возможных проявлениях в микрорезонаторе, имеющем форму правильного многоугольника (петлевое параметрическое рассеяние).

Во второй главе учитываются спиновые степени свободы и рассматриваются эффекты поляризационной мультистабильности. Делается обзор подобных эффектов,

которые в большинстве случаев могут быть описаны в предположении о сравнительно слабой связи между противоположными спиновыми компонентами поляритонов. Далее рассматривается важный частный случай, когда энергия спиновой связи относительно велика и примерно вдвое превосходит ширину резонансов. Эти условия реализуются в микрорезонаторе с расщеплением собственных состояний, имеющих ортогональные линейные поляризации. Показано, что в этом случае происходит конверсия оптической поляризации конденсата из линейной (симметричной по спине) в циркулярную. Подробно описывается эксперимент, где поляризационные переходы наблюдались в условиях импульсной накачки, и дается интерпретация результатов эксперимента. Затем рассматривается поведение аналогичной системы в магнитном поле и приводится прямое сравнение расчетных и экспериментальных данных. В последней части второй главы описываются более тонкие явления, возникающие в неоднородной системе, такие как солитоны и пространственные структуры с периодическим распределением поляризации («спиновые текстуры»). Глава заканчивается кратким анализом эффектов, обусловленных заселением долгоживущих экситонных состояний с полным угловым моментом $J = 2$ (темные экситоны).

В третьей и четвертой главах даются теоретические предсказания, которые пока не получили экспериментального подтверждения. Необходимым условием их реализации является сравнительно большая величина константы спиновой связи по отношению к ширине резонансов. Установлено, в частности, что если соотношение этих величин превосходит 4, то в определенном диапазоне амплитуд внешнего поля все одномодовые состояния системы могут потерять устойчивость. В результате должны возникать автоколебательные и хаотические состояния, которые, как ожидается, можно будет наблюдать в излучении резонатора при его возбуждении непрерывной плоской волной. Кроме того, в протяженной системе могут появляться статические диссипативные структуры, а в самом общем случае - состояния с пространственно-временным хаосом. Образование вихрей и темных солитонов, которым посвящена четвертая глава диссертации, ожидается при еще большей величине константы спиновой связи. Автор показывает, что в этом случае могут существовать альтернативные состояния мультистабильной системы, обладающие противоположными фазами.

В пятой главе диссертации рассматриваются акустооптические явления, в частности, экспериментально подтвержденный эффект перехода между оптическими ветвями устойчивости, вызванный короткими деформационными импульсами, длительность которых составляет десятки пикосекунд. Показано, что хотя подобные импульсы возмущают энергию экситона в течение очень короткого времени, они вызывают необратимое переключение режима отклика при постоянной оптической накачке. Экспериментальная проверка данного эффекта была выполнена с временным разрешением при длительности оптического импульса около 100 наносекунд, т.е. в эффективно непрерывном оптическом режиме. Наблюдаемое усиление интенсивности сигнала пропускания составило более порядка величины. Также в пятой главе диссертации теоретически исследованы пространственные эффекты, связанные с возбуждением в микрорезонаторе поверхностных акустических волн. При этом система обнаруживает периодическую модуляцию интенсивности излучения в линейном режиме, а при переходе между ветвями устойчивости периодическое распределение излучения испытывает резкий пространственный сдвиг. Другой эффект поверхностных волн

состоит в появлении нескольких связанных сигналов параметрического рассеяния при оптической накачке микрорезонатора в области точки перегиба нижней поляритонной ветви.

Новизна научных результатов, представленных в диссертации С.С. Гаврилова, не вызывает сомнений. Их **достоверность** подтверждается тщательным сравнением, где это возможно, с работами других авторов, внутренней непротиворечивостью и согласием аналитически полученных результатов с данными численного моделирования. Заметная часть опубликованных результатов позволила объяснить экспериментальные данные, имевшиеся ко времени публикации, или же представляла собой предсказание явлений, которые только впоследствии наблюдались экспериментально. Согласие с экспериментами также говорит о хорошей обоснованности развитых теоретических моделей и достоверности результатов.

Результаты диссертационной работы опубликованы в авторитетных научных журналах, а также прошли апробацию в ходе докладов на профильных российских и международных конференциях, что подтверждает их **значимость**. Часть статей, содержащих только теоретические результаты по теме диссертации, опубликована С.С. Гавриловым без соавторов в таких журналах, как Physical Review Letters, Physical Review B и «Письма в ЖЭТФ». Результаты исследований представляют практический интерес для реализации устройств нанофотоники и квантовых технологий. В частности, предложенный автором механизм переходов между различными режимами излучения микрорезонатора, отличающихся по своим поляризационным свойствам, может быть использован для кодирования информации.

В отношении диссертации можно высказать несколько замечаний.

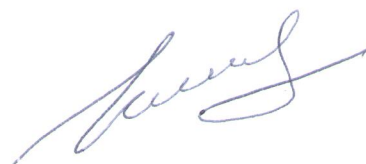
1. В разделе 2.8 обсуждается роль темных экситонов во взаимодействии поляритонов с различными спинами. При этом под темными экситонами подразумеваются только экситоны с полным угловым моментом $J = 2$. Такие экситоны живут долго и могут накапливаться в резервуаре. В настоящее время хорошо известно, что темные экситоны другого типа, а именно экситоны с волновым вектором за пределами светового конуса, живут значительно дольше, поэтому их плотность может значительно превышать плотность экситонов с $J = 2$. К сожалению, в диссертации не рассматриваются роль таких экситонов.
2. В диссертации много внимания уделено различным нарушениям пространственной однородности конденсата при возбуждении структуры электромагнитной волной с плоским фронтом. Рассматриваются спиновые текстуры (глава 2), нарушения пространственной симметрии и химерные состояния (глава 3), фазовые домены, филаменты и вихри (глава 4). В реальных структурах, однако, далеко не всегда реализуются идеальные условия плоского фронта электромагнитного поля и латеральной однородности образца. Хотелось бы видеть обсуждение влияния дефектов структуры на пространственную фрагментацию конденсата.
3. В работе имеется небольшое число опечаток. В частности, в разделе 5.2.2 говорится о мощности акустических импульсов, хотя приводится плотность энергии импульсов, как это следует из размерности указанных величин.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на достоверность и значимость полученных результатов и сделанных выводов.

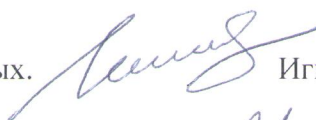
Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации.

В целом, по актуальности тематики, а также новизне, значимости и достоверности результатов диссертация С.С. Гаврилова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней (утверждено Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., ред. от 11.09.2021), а сам автор, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
профессор кафедры физики твердого тела
физический факультет Санкт-Петербургского
государственного университета
доктор физико-математических наук
(специальность 01.04.10 – физика полупроводников)
Игнатьев Иван Владимирович



Согласен на передачу персональных данных.



Игнатьев Иван Владимирович

«21» октября 2021 г.

Подпись И.В. Игнатьева удостоверяю:

И.о. начальника
отдела кадров №3
И.И. Константинова



Игнатьев 21.10.2021

Контактная информация
198504, Санкт-Петербург, ул. Ульяновская, 1
тел. +7(906)2401036
e-mail: i.ignatiev@spbu.ru

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей

Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
<http://spbu.ru/science/expert.html>