

## ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертационную работу Седова Евгения Сергеевича «Когерентная макроскопическая динамика и поляризационные свойства экситонных поляритонов в брэгговских микрорезонаторах», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 «Лазерная физика»

Исследования, описанные в диссертационной работе Е. С. Седова, направлены на решение фундаментальной проблемы разработки методов управления свойствами когерентного оптического излучения на основе поляритонных систем и соответствуют нынешним приоритетам развития лазерной физики для разработки материалов с управляемыми функциональными характеристиками с учётом квантовых коллективных состояний среды, возникающих в оптическом эксперименте. Рассматриваемые поляритонные системы представляют собой полупроводниковые гетероструктуры, в том числе, распределённые брэгговские отражатели и оптические микрорезонаторы на их основе, содержащие встроенные квантовые ямы. Отличительной особенностью поляритонных систем является композитная природа их собственных мод — экситонных поляритонов, — представляющих собой оптические моды, гибридизированные с экситонами в квантовых ямах. Именно эта особенность лежит в основе предлагаемых в диссертации подходов к управлению излучением; они имеют самое непосредственное отношение к лазерному эксперименту и востребованы в аспекте разработки функционирующих на новых физических принципах систем с квантово-оптическими свойствами для низкоразмерных пространственных элементов. В условиях сильной связи оптического излучения с веществом поляритоны комбинируют в себе свойства обеих подсистем, сочетая высокую подвижность и когерентность фотонов с управляемостью экситонов. Поляритонная платформа является перспективной для практического использования ввиду того, что она является твердотельной, в связи с чем поляритонные системы легко масштабируются, дешёвы в производстве и эксплуатации. Поляритоны образуют макроскопические когерентные состояния конденсата, которые легко возбуждаются внешним оптическим воздействием и сами выступают источником когерентного оптического излучения с управляемыми характеристиками.

В представленной диссертационной работе обобщены полученные Е. С. Седовым результаты исследований орбитальной и поляризационной степеней свободы макроскопических состояний поляритонов в условиях оптической накачки и предложены подходы к управлению ими. Так существенная часть диссертации посвящена проблеме генерации незатухающих азимутальных поляритонных токов в поляритонном конденсате. Токовые состояния поляритонного конденсата обладают отличным от нуля приведённым орбитальным угловым моментом и выступают источником когерентного оптического излучения со спирально закрученным волновым фронтом. Состояния с дробным орбитальным угловым моментом имеют широкие перспективы применения в области кодирования, хранения и передачи информации оптическими методами.



Предложенный в диссертации подход к возбуждению азимутальных поляритонных токов, состоящий в нарушении азимутальной симметрии локализирующего потенциала для поляритонов управляемым образом при помощи пучка внешней оптической накачки, имеет ряд принципиальных преимуществ перед традиционными методами генерации «закрученного света», таких как отсутствие необходимости в дополнительном оборудовании (пространственный модулятор света) и специально сконструированных оптических элементах (спиральные фазовые пластины, вихревые линзы), а также возможность управлять характеристиками поляритонного конденсата непосредственно в ходе эксперимента. В дополнение к самостоятельному выполнению всей совокупности теоретических исследований в данном направлении, включая разработку оригинальной модели для описания токовых состояний поляритонного конденсата, выявление и анализ условий их возникновения и т. д., соискатель выполнял ведущую роль в обработке результатов наблюдения поляритонных токов в экспериментах, выполненных соавторами совместных опубликованных работ.

Особое место в диссертационной работе занимает исследование обоюдного влияния орбитальной и спиновой (поляризационной) степеней свободы макроскопических поляритонных и фотонных состояний в условиях спин-орбитального взаимодействия. Данное направление исследований получило новый толчок к развитию в последние несколько лет в связи с появлением высокочастотных оптических микрорезонаторов, обеспечивающих возможность поляризационным эффектам проявляться на масштабах сотен микрометров, вплоть до нескольких миллиметров. В связи с этим, исследования Е. С. Седова в этом направлении являются актуальными и своевременными. Полученные результаты обладают как фундаментальной, так и прикладной значимостью. Так в диссертации предсказан фундаментальный эффект циттербеверунга («дрожания») поляритонов и фотонов, состоящий в пространственно-периодической модуляции траектории их распространения в плоскости микрорезонатора под влиянием поляризации. В отличие от иных физических систем (например, электронов в полупроводниковом кристалле), в поляритонной системе это эффект принципиально наблюдаем: он проявляется на макроскопических масштабах, превышающих длину волны оптического излучения, и его необходимо принимать во внимание при анализе результатов оптических экспериментов, допускающих проявление эффектов спин-орбитального взаимодействия света. В диссертационной работе предложены физические принципы поляритонных устройств для преобразования поляризации когерентного оптического излучения в связанной (поляритонной) форме как в импульсном, так и в непрерывном режиме лазерного воздействия, в том числе с использованием внешнего магнитного поля.

В диссертации предложена оригинальная поляритонная структура — резонансное брэгговское зеркало, — которая характеризуется гиперболической дисперсией и управляемостью дисперсионных свойств собственных оптических (поляритонных) мод внешним воздействием. Продемонстрированные теоретически возможности управления групповой скоростью лазерных импульсов, а также направлением распространения лазерных пучков в такой структуре позволяют рассматривать её как основу элементной базы отдельных оптоэлектронных устройств и оптических компонентов в составе интегральных схем, включая линии задержки, переключатели и преобразователи оптических сигналов.



В целом, результаты, описанные в диссертации Е. С. Седова, существенно дополняют качественные представления о физике взаимодействия лазерного излучения с коллективными возбуждениями в полупроводниковых кристаллах. Являясь фундаментальными, они обладают большой прикладной значимостью, расширяют спектр инструментов управления оптическим излучением за счёт использования новых эффектов и новых поляритонных структур. Результаты диссертационного исследования определяют базу для разработки устройств оптоэлектроники нового поколения и управления свойствами когерентного оптического излучения, а также определяют перспективы новых экспериментальных и теоретических исследований в лазерной физике и фотонике в области коллективных эффектов делокализации/локализации квантовых состояний в нелинейных системах с распределённой обратной связью. Достоверность полученных результатов обеспечивается высоким уровнем исследований, согласованием данных, полученных с использованием разных (как теоретических, так и экспериментальных) подходов. Результаты, описанные в диссертации, опубликованы в авторитетных российских и зарубежных журналах, в том числе Physical Review Letters, Light: Science & Applications, ACS Photonics, Physical Review B, Optics Letters и др., прошли широкую апробацию на профильных российских и международных конференциях и получили признание научной общественности.

Считаю, что представленная диссертационная работа «Когерентная макроскопическая динамика и поляризационные свойства экситонных поляритонов в брэгговских микрорезонаторах» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Седов Евгений Сергеевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 «Лазерная физика».

Научный консультант,  
заведующий кафедрой физики и прикладной математики  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский  
государственный университет имени Александра Григорьевича  
и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)  
доктор физико-математических наук, профессор

Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, д.87  
Тел.: +7(4922)47-75-40 e-mail: arak@vlsu.ru

Подпись профессора Аракеляна С. М. заверяю  
Учёный секретарь ВлГУ



Аракелян  
Сергей Мартиросович

19.04.2022.

Коннова  
Татьяна Григорьевна