

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Белова Павла Александровича на диссертацию Кавокина Алексея Витальевича на тему «Физика поляритонных лазеров», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

### 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертация Алексей Витальевича Кавокина состоит из введения, краткого изложения основных результатов исследования и положений, выносимых на защиту. Во введении сосикателем обоснована актуальность включенных в диссертацию научных результатов в контексте современных исследований в области физики поляритонов. Основные результаты диссертационного исследования описаны автором в 10 связанных между собой разделах.

В первом разделе А.В. Кавокиным обсуждается формирование поляритонных конденсатов Бозе-Эйнштейна. Соискателем разработана теория этого явления и предложены материалы и системы, в которых может быть реализован эффект конденсации поляритонов. На основании проведенных исследований предложена концепция и впервые в мире экспериментально реализован поляритонный лазер, работающий при комнатных температурах. Без сомнения цикл этих работ стал знаковым событием и дал мощный импульс дальнейшему развитию поляритонной физики.

Второй раздел основной части диссертации посвящен поляризационным свойствам поляритонных конденсатов. Соискателем показано, что при превышении порога конденсации происходит резкий рост степени линейной поляризации конденсата. Выявлена связь направления поляризации с ориентацией кристаллографических осей микрорезонатора и разработана математическая модель, объясняющая наблюдаемые эффекты. Также в диссертации обсуждается влияние температуры на поляризацию конденсатов, в частности установлено, что повышение температуры уменьшает степень линейной поляризации.

В третьей части, являющейся естественным продолжением второй, тоже рассматриваются поляризационные эффекты, но уже в контексте спинового эффекта Холла. Соискатель является одним из ключевых соавторов пионерской работы, в которой, показано, что ТЕ-ТМ расщепление мод микрорезонатора приводит к поляризационному эффекту являющемуся прямым аналогом эффекта Холла. В дальнейшем автором диссертации был опубликован целый ряд работ, посвященных поляритонному эффекту Холла в которых, в частности, это эффект был продемонстрирован экспериментально, в том числе и в поляритонном лазере.

Поверхностные состояния, возникающие в микрорезонаторе на границе раздела двух различных зеркал, рассматриваются в четвертой части. Теоретически предсказанные автором диссертации Таммовские плазмоны были, затем, исследованы с участием автора в ряде экспериментальных работ. Значимость этих работ состоит в том, что использование поверхностных состояний позволяет уменьшить объем рабочей моды и достичь более высокого коэффициента линейного усиления.

Пятый раздел посвящен исследованию спектров элементарных возбуждений в поляритонных конденсатах. Наличие поляризационной степени свободы приводит к тому, что, в отличие от сверхтекучего гелия, элементарные возбуждения поляритонного конденсата характеризуются двумя скоростями звука. В работах А.В. Кавокина показано, что, при определенных условиях, в дисперсионной характеристике одной из поляризаций возникает энергетическая щель. Данные результаты, безусловно, способствуют более глубокому пониманию свойств поляритонных конденсатов.

Конденсаты с ненулевым угловым моментом и влияние магнитного поля на конденсат поляритонов подробно рассматривается в работах, вошедших в шестой раздел. В работах соискателя исследована, теоретически и экспериментально, зависимость взаимной динамики различных поляризаций поляритонного конденсата, помещенного в магнитное поле. Как один из ключевых результатов данной части диссертации хочу отметить установление ступенчатой зависимости степени циркулярной поляризации поляритонов от магнитного поля для локализованного конденсата.

В седьмом разделе рассмотрена динамика бистабильных поляритонных систем, находящихся под воздействием когерентной накачки. В работах автора диссертации исследована динамика доменных стенок, разделяющих разные устойчивые состояния поляритонного конденсата. Соискателем показано, что скорость движения доменных стенок зависит от отстройки частоты лазера накачки от резонансной частоты микрорезонатора. Также в данном разделе сформулирована концепция «поляритонных нейронов», принцип действия которых основан на движении доменных стенок.

Бозонный каскадный лазер рассмотрен в восьмом разделе. Теоретически и экспериментально продемонстрирована возможность использования переходов между различными состояниями поляритонного конденсата для генерации электромагнитных волн субмиллиметрового диапазона. Интересным явлением, обнаруженным автором, является явление супербанчинга света, излучаемого поляритонным конденсатом.

В девятом разделе обсуждается индуцированная поляритонным конденсатом сверхпроводимость. В отличие от «традиционной» сверхпроводимости, когда возникновение Куперовских пар связано с обменом фононами, автором диссертации рассмотрено формирование Куперовских пар за счет обмена поляритонами. В этом случае плотность Куперовских пар возрастает с увеличением плотности поляритонов. А.В. Кавокиным исследовано сочетание фононного и экситонного способа образования Куперовских пар и предсказано, что, теоретически, это может позволить существенно увеличить температуру сверхпроводящего перехода.

В последнем, десятом разделе рассмотрено возникновение поляритонных токов в следствии спонтанного нарушения пространственной симметрии. В работах автора диссертации продемонстрирована ключевая роль сочетания консервативной и диссипативной связей между конденсатами в спонтанном нарушении симметрии поляритонных конденсатов

Подводя итог, я хочу сказать, что научные труды Алексея Витальевича Кавокина широко известны среди ученых, работающих в области физики поляритонов. Не будет большим преувеличением сказать, что соискатель является одним из самых известных в мире экспертов в данной области и что его работы сформировали целые направления исследований. Все результаты, вошедшие в диссертацию, хорошо апробированы и их достоверность и значимость не вызывает ни малейших сомнений. Положения, выносимые на защиту, четко сформулированы и полностью обоснованы в самой диссертации.

Традиционно полагается указать на недостатки, которые все-таки есть у диссертации. В этом разделе отзыва я хотел бы отметить наличие незначительного числа опечаток в тексте, а также не совсем стандартную терминологию, иногда встречающуюся в диссертации. Например, я не считаю удачным используемый автором диссертации термин «векторная поляризация». Однако, безусловно, отмеченные недостатки носят исключительно технический характер и не влияют на общую высокую оценку работы.

Диссертация Кавокина Алексея Витальевича на тему: «Физика поляритонных лазеров» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Кавокин Алексей Витальевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук  
Главный научный сотрудник, профессор,  
Директор физико-математического мегафакультета  
Университета ИТМО

Белов Павел Александрович

12 октября 2022 года

Подпись  
удостоверяю  
Менеджер ОПС  
Гарькина В.А.

Белов П.А.