

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Шляпникова Георгия Всеволодовича 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 Алексея Витальевича Кавокина состоит из введения и десяти разделов, в которых описаны основные результаты, выносимые на защиту. Во введении дан краткий обзор раздела физики, которому посвящена данная диссертационная работа, - физике экситонных поляритонов или поляритоники. Названы наиболее существенные достижения поляритоники за последние четверть века, к числу которых относится экспериментальное наблюдение Бозе-Эйнштейновской конденсации экситонных поляритонов при комнатной температуре и создание поляритонных лазеров.

Первый раздел диссертации посвящен теории неравновесной бозе-конденсации экситонных поляритонов, на основании которой соискатель обосновал возможность формирования бозе-эйнштейновских конденсатов поляритонов в микрорезонаторах на основе широкозонных полупроводников, таких как GaN и ZnO, при комнатной температуре. Это теоретическое предсказание было впоследствии подтверждено экспериментально, в результате чего, при участии соискателя, был разработан новый класс опто-электронных приборов: поляритонные лазеры.

Второй раздел диссертации обсуждает экспериментальный критерий образования бозе-конденсата экситонных поляритонов, которым является, как показал соискатель, спонтанный рост поляризации света, излучаемого полупроводниковым микрорезонатором. Показано, что в изотропном микрорезонаторе вектор Стокса излучаемого света может быть ориентирован произвольно, выбор его направления происходит в результате спонтанного нарушения симметрии. Эти теоретические предсказания также подтверждены рядом экспериментов.

Третий раздел диссертации посвящен предсказанию и обнаружению оптического спинового эффекта Холла. Этот эффект, родственной спиновому эффекту Холла, предсказанному М.И. Дьяконовым и В.И. Перелем в 1971 году, был впервые предложен для фотонов в плоском микрорезонаторе соискателем, а затем обнаружен экспериментально в целом ряде структур. В настоящее время, оптический спиновый эффект Холла используется в поляритонных топологических изоляторах и лазерах.

Четвертый раздел диссертации посвящен Таммовским фотонам и плазмонам. Эти квазичастицы возникают в результате предсказанной соискателем локализации света на границе двух разных диэлектрических брэгговских зеркал (таммовский фотон) или на границе диэлектрического и металлического зеркала (таммовский плазмон). Как и в предыдущих случаях, теоретические предсказания соискателя нашли экспериментальное подтверждение. Оба типа квазичастиц активно изучаются экспериментально в настоящее время.

Пятый раздел диссертации посвящен описанию возбужденных состояний поляритонного конденсата. Показано, что, поскольку параметр порядка конденсата является спинором, дисперсия его элементарных возбуждений формирует две ветки, характеризующиеся ортогональными поляризациями и разными скоростями звука. Это интересное

теоретическое наблюдение имеет общий характер: оно применимо к спиновым бозонным системам.

Шестой раздел диссертации посвящен описанию спинового эффекта Мейсснера, который состоит в полном подавлении зеемановского расщепления в конденсате экситонных поляритонов за счет спин-зависимого отталкивающего взаимодействия между поляритонами. Эффект был предсказан Кавокиным и соавторами, затем обнаружен и экспериментально исследован в нескольких лабораториях.

Седьмой раздел диссертации посвящен описанию концепции «поляритонных нейронов» - каналов передачи информации при помощи движения доменных стенок между двумя фазовыми состояниями поляритонного газа. Динамика доменных стенок, теоретически описанная Кавокиным и соавторами, оказалась в последствии в центре внимания в связи с работами по нейроморфным вычислительным системам.

Восьмой раздел диссертации представляет концепцию бозонного каскадного лазера, основанного на стимулированных излучательных переходах в параболической ловушке, содержащий многомодовый поляритонный конденсат. Бозонный каскадный лазер, предложенный группой Кавокина, может стать наиболее компактным и эффективным полупроводниковым источником терагерцового излучения. Это теоретическое предложение пока получило лишь косвенное экспериментальное подтверждение.

Девятый раздел диссертации представляет еще одну оригинальную теоретическую идею соискателя. В этом разделе теоретически показано, что притягивающее электрон-электронное взаимодействие может быть обеспечено за счет рассеяния электронов на возбужденных состояниях экситонного (поляритонного) конденсата. Ожидается, что критическая температура сверхпроводящего перехода будет расти с ростом числа заполнения бозонного конденсата. Это предложение дает надежду на наблюдение экситонного механизма сверхпроводимости, предложенного еще Гинзбургом в 1970-е годы.

Десятый раздел диссертации посвящен спонтанной генерации незатухающих токов в бозе-конденсате экситонных поляритонов. Это явление, основанное на сочетании отталкивающих взаимодействий, накачки и диссипации в поляритонной системе, является интересной особенностью бозонных конденсатов в открытых системах. Теоретически предсказанный эффект уже был обнаружен экспериментально. Циркулярные незатухающие токи экситонных поляритонов используются для разработки поляритонных кубитов.

В списке публикаций А.В. Кавокина, легших в основу данной диссертации, 19 статей, опубликованных в *Physical Review Letters*, а также публикации в *Nature*, *Science*, *Physical Review X*, *PNAS* и других престижных журналах. Большое количество публикаций в журналах такого уровня подтверждает высокий научный уровень представленной работы. Следует также отметить, что А.В. Кавокин создал международную научную школу поляритоники. Яркие представители этой школы Гийом Мальпеш, Фабрис Лосси, Иван Шелых, Тимоти Лью, Евгений Седов являются в настоящее время ведущими экспертами, развивающими научную область, сформированную благодаря пионерским работам Кавокина.

Как замечание хотелось бы сказать, что в диссертации довольно много обсуждается бозе конденсат поляритонов. В этой связи было бы хорошо указать чем такие конденсаты отличаются от хорошо известных конденсатов ультрахолодных атомов.

В качестве не столько замечания, сколько пожелания хочу заметить, что некоторые эффекты, предложенные соискателем, могли бы быть реализованы не только в поляритонной системе, но и в атомных конденсатах, сверхтекучем жидком гелии и сверхпроводниках. Работа выиграла бы, если бы те из ее результатов, которые имеют универсальный характер, были бы применены в других физических системах.

Диссертация Кавокина Алексея Витальевича на тему: «Физика поляритонных лазеров» соответствует основным требованиям, установленным приказом от 19.01.2021 № 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.

Георгий Шляпников,
Professor, doctor of physics, LPTMS, CNRS, Orsay, France
georgy.shlyapnikov@universite-paris-saclay.fr



09.11.2022