

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.03  
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе  
Российской академии наук

по диссертации

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 30 мая 2024 г. № 3

О присуждении Пенькову Сергею Александровичу  
Гражданину Российской Федерации,  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Магниточувствительные люминесцентные процессы с участием триплетных молекул и экситонов в наноструктурах» по специальности 1.3.6 – «оптика» принята к защите 8 февраля 2024 г., протокол № 2, диссертационным советом ФТИ 34.01.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул. д.26. Диссертационный совет утвержден приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75, прил. 1 от 12 июля 2019 г., приказами Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 223 от 18.12.2023 г., № 177 от 11.10.2023 г., № 28 от 16.02.2023 г., № 41 от 25.02.2022 г., № 13 от 09.02.2021 г. об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.03 и приказом Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 160 от 21.12.2021 г. о внесении изменений в шифры специальностей диссертационных советов.

Соискатель Пеньков Сергей Александрович, 23 декабря 1988 года рождения, в 2013 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» по направлению подготовки 011200 - «физика». В 2019 году окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» по направлению 03.06.01 - «Физика и астрономия». Кандидатский экзамен по специальности 1.3.6 – «оптика» успешно

сдан соискателем в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в 2017 г. В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника центра лазерной и информационной биофизики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет».

Диссертация выполнена в центре лазерной и информационной биофизики и на кафедре радиофизики и электроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет».

Научный руководитель – Кучеренко Михаил Геннадьевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры радиофизики и электроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет».

Официальные оппоненты:

1. Кавокин Кирилл Витальевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории оптики спина имени И.Н. Уральцева, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 7 замечаний.

2. Герасимов Константин Игоревич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Казанского квантового центра, Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева – КАИ; старший научный сотрудник Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 6 замечаний.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» предоставила положительный отзыв на диссертацию, содержащий 1 замечание. Отзыв подготовлен и подписан директором департамента научно-исследовательских работ, директором НОЦ «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанофотоника», доцентом образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий», кандидатом физико-математических наук Самусевым Ильей Геннадьевичем. Отзыв утверждён проректором по научной работе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» Деминым Максимом Викторовичем. В заключении отзыва указано, что содержание диссертации Пенькова С.А. соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.6 – «оптика», а соискатель Пеньков С.А. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – «оптика».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что один из них имеет ученую степень доктора наук, а второй кандидата наук, работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» в своем составе имеет

подразделение НОЦ «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанофотоника». Центр занимается созданием и изучением оптических свойств новых материалов фотоники и нанотехнологий, а также развитием физических основ молекулярной спектроскопии. К научным областям центра относятся: флуоресцентная спектроскопия (в т.ч. с временным разрешением); плазмоника и наноплазмоника; взаимодействие лазерного излучения с веществом; оптические свойства тонких пленок, наночастиц металлов, квантовых точек; спектроскопия комбинационного рассеяния, ИК-спектроскопия.

Кроме того, в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» действуют диссертационные советы по физико-математическим специальностям.

Основное содержание диссертации представлено в 25 работах, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, опубликовано 4 работы:

1. Kucherenko M.G., Penkov S.A. Triplet exciton reactions in MEH-PPV films registered by accompanying magneto-sensitive photoluminescence // *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*. – 2023. -V.437, - P. 114440.
2. Кучеренко М.Г., Пеньков С.А. Особенности фотолюминесценции кислородонасыщенных пленок метокси-полифениленвинилена (MEH-PPV) // *Оптика и спектроскопия*. – 2022. – Т.130. - №.5, - С. 690 - 697.
3. Kucherenko M.G., Penkov S.A. Triplet Excitons Quenching By Doublet Centers in a Nano-reactor with an External Magnetic Field // *Journal of Applied Spectroscopy*. - 2021. - V.88, №2, - pp. 265-273.
4. Penkov S.A. Magnetic Field-Effect on Photoluminescence of Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene] (MEH-PPV) Nanoparticles in a Poly[vinyl butyral] Matrix // *Journal of Macromolecular Science - Physics (Part B)*. - 2020. -V.59. -№5, - P. 1-10.

На автореферат поступило 8 отзывов.

1. Отзыв доктора химических наук, профессора, заведующего лабораторией процессов фотосенсибилизации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института

биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН Кузьмина Владимира Александровича, положительный, замечаний и вопросов не содержит.

2. Отзыв кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Кислова Дениса Алексеевича, положительный, замечаний и вопросов не содержит.

3. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора-исследователя кафедры физики и нанотехнологий Карагандинского университета им. Е.А. Букетова Ибраева Н.Х. и доктора Phd, ассоциированного профессора, старшего научного сотрудника Института молекулярной нанофотоники Карагандинского университета им. Е.А. Букетова Селиверстова Е.В. положительный, вопросов и замечаний не содержит.

4. Отзыв доктора химических наук, профессора кафедры «Физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» Мельникова Геннадия Васильевича положительный, содержит 1 замечание:

- В третьей главе не использовался метод оптической время-разрешенной абсорбционной спектроскопии. Использование данного метода стало бы хорошим дополнением для исследования триплетных состояний. Однако данное замечание не носит существенный характер, а может быть рассмотрено как пожелание для проведения дальнейших исследований.

5. Отзыв доктора физико-математических наук профессора, директора ЦКП «Институт микро- и нанотехнологий» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» Летуты Сергея Николаевича положительный, вопросов и замечаний не содержит.

6. Отзыв доктора физико-математических наук профессора Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» Чмеревой Татьяны Михайловны положительный, вопросов и замечаний не содержит.

7. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора Федерального государственного образовательного учреждения науки высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Салецкого Александра Михайловича положительный, вопросов и замечаний не содержит.

8. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора Центра фотоники и фотохимии молекул Института физики НАН Беларуси Джагарова Бориса Михайловича положительный, вопросов и замечаний не содержит.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем работ по диссертации «Магниточувствительные люминесцентные процессы с участием триплетных молекул и экситонов в наноструктурах» были получены следующие основные результаты:

1. Экспериментально обнаружен отрицательный магнитолевой эффект фотолюминесценции органического полупроводника МЕН-PPV, вызванный уменьшением концентрации молекулярного кислорода, вследствие снижения давления воздуха с  $10^5$  Па до  $10^2$  Па в полимерном образце. На основе специально созданной кинетической модели впервые продемонстрирована возможность обращения знака эффекта поля при характерных значениях параметров модели в области значений давления вблизи 49,8 кПа, соответствующих условиям эксперимента.

2. В задачах прецизионных расчетов спектров оптически детектируемого магнитного резонанса и стационарного магнитолевого эффекта (МПЭ) впервые применен метод

двухчастичных диффузионных функций Грина в областях с заданными отражающими границами.

3. Предложена и исследована на предмет влияния на спин-зависимую кинетику особенностей в виде потенциальных ям гибридная математическая модель диффузионных процессов в наноструктурах, содержащих триплет-триплетные и триплет-дублетные пары, и базирующаяся на методе диффузионных функций Грина и непосредственном решении уравнений для матриц плотности спин-коррелированных пар с прыжковым механизмом миграции.

4. Впервые рассчитаны спектры ОДМР и МПЭ на основе новой гибридной математической модели, специально созданной для наночастиц различной формы с потенциальными барьерами для молекул-реагентов.

5. Впервые предложена математическая модель триплет-триплетной аннигиляции с механизмом миграции прыжкового типа, проходящей в сферических реакторах нанометрового радиуса в потенциальном поле двуямного типа.

Практическая значимость работы заключается в возможности регулирования миграции триплетных экситонов путем изменения размеров наноструктур органических полупроводников, может найти применение в уже существующих наноструктурированных органических светоизлучающих диодах. Вопросы движения триплетных экситонов и свободных зарядов в таких устройствах чрезвычайно важны, и напрямую влияют на такие параметры как яркость, потребляемая мощность, КПД и т.д. Наблюдаемый за счет варьирования концентрации молекулярного кислорода эффект переключения знака магнитного отклика может быть использован как для идентификации протекания экситонных реакций в системах различной структурной организации, так и для определения концентрации молекулярного кислорода в основном и возбужденном синглетном состоянии в растворах, полимерных пленках и пористых

адсорбентах – при разработке измерителей плотности  $O_2$  в этих системах.

Достоверность результатов обеспечивается использованием теоретических моделей, построенных на основе методов математической физики и с использованием современного научного оборудования для получения экспериментальных результатов.

Актуальность полученных результатов обоснована целесообразностью изучения фотопроцессов в наноструктурированных органических полупроводниках.

Полученные результаты позволили соискателю сформулировать и защитить следующие положения:

1. Понижение концентрации молекулярного кислорода, вследствие уменьшения давления воздуха с  $10^5$  Па до  $10^2$  Па над пленкой органического полупроводника poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene] МЕН-PPV, приводит к обращению знака эффекта магнитозависимой люминесценции МЕН-PPV в области значений давления вблизи 49,8 кПа.

2. Предложенная модель спиновой динамики триплетных электронных возбуждений в магнитном поле индукции  $B$  0 – 0,5 Тл при их взаимной аннигиляции в наноструктурах с бистабильными пространственными состояниями основана на точном решении системы уравнений для матриц плотности «тесной» и «рыхлой» T-T-пар и предсказывает 2-х кратное увеличение магнитного эффекта ТТА.

3. Установлено влияние геометрических, конфигурационных, кинетических и силовых параметров системы на абсолютную величину относительного изменения скорости реакции T-D-тушения. Степень такого влияния и характер магнитополевых зависимостей определяется через отношение интенсивностей экситонной фосфоресценции при наличии магнитного поля и в его отсутствие. Получена нелинейно спадающая зависимость абсолютной величины относительного изменения скорости реакции триплет-

дублетного тушения в сферической наноструктуре от ее размера в диапазоне 30 – 100 нм.

4. Предложенная теоретическая модель взаимной диффузионной миграции реагентов – триплетных молекул и экситонов в наноструктурах с различной формой субъединиц – ячеек или кластеров определяет амплитуду стационарного магнитополевого эффекта аннигиляции (до 12-14%), а также предсказывает экспоненциальную зависимость ширины линий спектров оптически детектируемого магнитного резонанса этих реакций в зависимости от начального радиуса ( $r' \sim 45 - 90$  нм) триплет-триплетной пары.

Все представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором или при его активном участии, что подробно изложено в текстах диссертации и автореферата. Пеньков С.А. активно участвовал в двенадцати научных проектах.

Анализ результатов выполнен совместно с соавторами опубликованных работ при непосредственном участии соискателя.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов по специальности 1.3.6 – «оптика», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

На заседании 30 мая 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Пенькову С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – «оптика».

Зам. председателя диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Л.Г. Аскинази

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат физ.-мат. наук

И.А. Горбунова

30 мая 2024 г.