

ОТЗЫВ

Научного консультанта д.ф.-м.н., профессора Стрекаль Н.Д.
на диссертацию Меньшовой Евгении Петровны
«Влияние плазмонного эффекта на интеркомбинационные переходы
в молекулярных средах», представленную на соискание степени доктора
философии (PhD) по образовательной программе 8D05302-«Физика»

Диссертационная работа посвящена исследованию влияния плазмонного поля металлических наноструктур на фотофизические процессы в органических молекулах красителей, включая радиационные и безызлучательные каналы релаксации возбужденных состояний, интеркомбинационные переходы, а также процессы генерации синглетного кислорода. Рассматриваемая тематика находится на стыке молекулярной фотоники, фотохимии и нанофотоники и является одной из актуальных областей современной физической химии и оптики конденсированных сред.

Актуальность выполненного исследования обусловлена необходимостью фундаментального понимания механизмов управления спин-запрещёнными процессами в молекулярных системах. Интеркомбинационная конверсия играет ключевую роль в формировании триплетных состояний органических молекул и определяет эффективность целого ряда фотофизических и фотохимических процессов, включая фосфоресценцию, замедленную флуоресценцию и фотосенсибилизацию молекулярного кислорода. Эти процессы лежат в основе разработки функциональных материалов для фотодинамической терапии, сенсорных систем, оптоэлектронных устройств и люминесцентных источников света. Особый интерес представляют системы, функционирующие в ближней инфракрасной области спектра, соответствующей «оптическому окну прозрачности» биологических тканей, что существенно расширяет возможности их биомедицинского применения.

В последние годы значительное внимание уделяется изучению плазмонных эффектов в гибридных органо-металлических системах. Локализованные поверхностные плазмоны металлических наночастиц способны существенно изменять локальную плотность фотонных состояний, усиливать электромагнитное поле вблизи поверхности металла и, как следствие, модифицировать вероятности радиационных и безызлучательных переходов в молекулах красителей. Несмотря на активное развитие данной области, механизмы влияния плазмонных полей на интеркомбинационные переходы и образование триплетных состояний остаются недостаточно изученными. В связи с этим исследование плазмонно-индуцированных эффектов в системах органических красителей представляет значительный научный интерес.

Целью диссертационной работы является исследование влияния плазмонного эффекта на интеркомбинационные переходы в молекулах органических красителей, а также на процессы генерации синглетного кислорода. Для достижения поставленной цели автором был решён комплекс

взаимосвязанных экспериментальных и теоретических задач, включающих изучение влияния тяжелого атома на фотофизические свойства красителей, разработку теоретической модели для количественного описания радиационных и безызлучательных переходов в плазмонном поле, исследование фотофизических свойств пирилокарбоцианиновых красителей в растворах и полимерных матрицах, а также изучение процессов фотосенсибилизации молекулярного кислорода в присутствии плазмонных наноструктур.

Выполненная работа демонстрирует высокий научный уровень, выделяется новизной подходов и обладает большим потенциалом для практического применения.

Существенное внимание в работе уделено исследованию влияния плазмонных наноструктур на люминесцентные свойства органических красителей. Показано, что в присутствии металлических наночастиц наблюдается значительное усиление флуоресценции, замедленной флуоресценции и фосфоресценции. Предложенная в работе теоретическая модель позволяет количественно оценивать квантовые выходы флуоресценции и фосфоресценции молекул красителей в присутствии металлических наночастиц. Проведённые расчёты хорошо согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает корректность предложенного подхода.

Экспериментально и теоретически исследовано влияние эффекта тяжелого атома на спектральные и люминесцентные свойства родаминовых красителей. Показано, что введение атомов брома в хромофорную систему приводит к батохромному сдвигу полос поглощения и флуоресценции, к уменьшению энергетического зазора между синглетным и триплетным состояниями, а также к снижению квантового выхода и времени жизни. Установлено, что увеличение спин-орбитального взаимодействия приводит к существенному росту вероятности интеркомбинационных переходов и увеличению заселённости триплетных состояний. Такая же закономерность наблюдается и для пирилокарбоцианиновых красителей при замене гетероатома в ряду $O \rightarrow S \rightarrow Se$.

Особый интерес представляет процесс плазмонного усиления генерации синглетного кислорода. Показано, что плазмонное поле металлических наночастиц способствует увеличению заселения триплетных состояний красителей и повышению эффективности передачи энергии молекулам кислорода. В результате наблюдается значительное увеличение интенсивности сенсибилизированной фосфоресценции синглетного кислорода. Полученные результаты имеют важное значение для разработки новых фотосенсибилизаторов, функционирующих в ближней инфракрасной области спектра.

Практическая значимость выполненной работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы при разработке новых функциональных материалов для фотодинамической терапии, люминесцентных источников света, наносенсорных систем и элементов

молекулярной электроники. Разработанные подходы к управлению фотофизическими процессами в органических красителях могут быть применены при создании гибридных плазмонно-органических систем с заданными оптическими свойствами.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на научных конференциях и отражены в научных публикациях. По результатам исследований, представленных в диссертационной работе Меньшовой Е.П., опубликовано 7 научных трудов, среди которых: 1 статья в журнале, входящем в базу Thomson Reuters и Scopus: в Physical Chemistry Chemical Physics – Q2, IF 2.9 (2024); 2 статьи в журнале, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК и 4 публикаций в материалах международных конференций.


Автор диссертации проявил себя как целеустремлённый и инициативный исследователь, обладающий высоким уровнем профессиональной подготовки, способностью к самостоятельной научной работе и глубоким пониманием рассматриваемых научных проблем. Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии на всех этапах выполнения диссертационного исследования. Автором самостоятельно проведён комплекс экспериментальных работ, включающих синтез островковых плёнок серебра и золота, а также получение плазмонных наночастиц в растворах. Анализ экспериментальных данных, обсуждение полученных результатов и формулирование основных выводов диссертационной работы осуществлялись при участии научных консультантов.

В целом диссертационная работа представляет собой завершённое научное исследование, выполненное на актуальную тему, содержащее новые научные результаты и имеющее существенное значение для развития молекулярной фотоники и фотохимии.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям, а её автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302-«Физика».

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры общей физики
Гродненского государственного
университета им. Янки Купалы

13.03.2026 г.



Стрекаль Н.Д.

Подпись профессора кафедры
общей физики, д.ф.м. наук
Стрекаль Н.Д. заверяю
Рейзов А.С. Воронцов
Декан физико-математического
факультета 13.03.2026

