

## ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу  
Аманжоловой Гульнур Сабитовны на тему «Трансформация световой энергии углеродными точками различного состава»,  
 представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «8D05302 - Физика»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:	Проведённые диссертационные исследования соответствуют приоритетному направлению развития науки Казахстана «Энергия, передовые материалы и транспорт» и его подразделам, включающим создание новых, композитных и функциональных материалов и их нанотехнологий, а также разработке радиационных технологий. Диссертационная работа Аманжоловой Г.С. посвящена изучению одного из интереснейших и новых видов углеродных материалов – углеродным квантовым точкам (или просто углеродным точкам (УТ)), допированным атомами серы, азота (S, N) и азота, кислорода (N, O), их спектрально-люминесцентных свойств и влияния на них плазмонного резонанса наночастиц Ag и Au, а также исследованию процессов активации молекулярного кислорода под действием УТ и плазмонных наночастиц металлов.
2.	Важность для науки	1) Диссертация выполнена в рамках проекта <u>или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</u> 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление) Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта	Диссертация выполнена в рамках проекта «Функциональные наноматериалы на основе углеродных квантовых точек» (№ AP09259913) на 2021-2023 гг., финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.  В работе установлены тонкие механизмы изменения излучательных процессов в УТ в зависимости от состава их прекурсоров, природы допирующих гетероатомов, температуры, влияния наночастиц Ag и Au, обладающих плазмонным резонансом, а также механизмов сенсбилизации

			<p>синглетного кислорода под влиянием УТ и плазмонных наночастиц металлов. Полученные результаты, несомненно, вносят существенный вклад в науку о трансформации световой энергии углеродными наноматериалами в целом и углеродными точками, в частности. В работе много внимания уделено важности проведённых исследований не только для развития теоретических представлений о механизмах излучательных переходов в УТ, но и для применения на практике, так как УТ с контролируемыми оптическими свойствами являются эффективным материалом для фотоники, сенсорных технологий, медицины и других областей науки и техники.</p>
3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности:  1) Высокий;  2) Средний;  3) Низкий;  4) Самостоятельности нет</p>	<p>Для изучения оптических свойств УТ и влияния на эти свойства различных факторов диссертантом самостоятельно были получены УТ на основе таких прекурсоров, как лимонная кислота, мочевины и L-цистеин с их разными соотношениями, а также наночастицы серебра и золота в растворах и островковых плёнках. Выполнен большой объём экспериментальных исследований по установлению спектроскопических проявлений и структурно-морфологических свойств с использованием различных физико-химических методов и привлечением современных приборов.</p>
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:  1) Обоснована;  2) Частично обоснована;  3) Не обоснована.</p>	<p>Несмотря на почти двадцатилетнюю историю изучения строения и физических свойств УТ, они продолжают привлекать внимание учёных благодаря разнообразным направлениям их применения и перспективам их расширения. Главная особенность УТ заключается в том, что они могут поглощать и затем излучать свет в диапазоне от синего до красного и даже инфракрасного излучения. Механизм этого излучения и внутреннее строение УТ до сих пор являются предметом научных споров. В работе Аманжоловой Г.С. установлена возможность усиления излучения углеродных точек посредством их допирования или влияния плазмонного эффекта наночастиц металлов, изучены их механизмы и, что очень важно, показана возможность управления этими процессами трансформации света, например, изменением условий синтеза, длины волны их возбуждения. Изученные в работе спектрально-люминесцентные свойства УТ могут быть востребованы при создании солнечных элементов, органических светодиодов, фотопрёмников, фотокатализаторов и в других устройствах.</p> <p>Кроме этого, углеродные точки являются нетоксичными, биосовместимыми и растворимыми, благодаря чему они особенно перспективны для применения в медицине, например, для доставки лекарств, а также в качестве биосенсоров, для создания биоизображений и в фотодинамической терапии при лечении рака и других заболеваний. Хорошо известно, что в</p>

		<p>фотодинамической терапии (а также во многих других прикладных направлениях) используется кислород в возбуждённом <math>^1\Delta_g</math> синглетном состоянии. Поэтому для перевода молекулярного кислорода из основного триплетного состояния применяются фотосенсибилизаторы. В диссертации Аманжоловой Г.С. изучены свойства УТ в качестве фотосенсибилизатора молекулярного кислорода без и в присутствии плазмонных частиц металлов. Следовательно, выполненные в данной диссертации исследования являются актуальными, и в тексте диссертации эта актуальность достаточно хорошо обоснована.</p>
	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:  1) <u>Отражает</u>;  2) <u>Частично отражает</u>;  3) <u>Не отражает</u></p>	<p>Содержание диссертации, состоящей из пяти разделов, полностью отражает тему диссертации.</p>
	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:  1) <u>соответствуют</u>;  2) <u>частично соответствуют</u>;  3) <u>не соответствуют</u></p>	<p>Основной целью диссертационной работы является исследование структурных и оптических свойств УТ различного состава под влиянием условий синтеза, воздействия плазмонного эффекта на радиационный распад их возбуждённых состояний, а также активации молекулярного кислорода триплетными состояниями синтезированных УТ. И цель работы, и поставленные для достижения этой цели задачи полностью соответствуют теме диссертации.</p>
	<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:  1) <u>полностью взаимосвязаны</u>;  2) <u>взаимосвязь частичная</u>;  3) <u>взаимосвязь отсутствует</u></p>	<p>В диссертации все разделы логически связаны друг с другом. Текст диссертации начинается с литературного обзора, посвященного углеродным точкам, их свойствам, способам синтеза и методам исследований, затем идёт описание экспериментальных методов исследований. Следующие три раздела представляют собой изложение полученных результатов по синтезу <math>S_3N_3</math>- и <math>O_3N_3</math>-допированных УТ и влияния условий синтеза на их структурные и оптические свойства (раздел 3), генерации и дезактивации триплетных состояний <math>S_3N_3</math>- и <math>O_3N_3</math>-содержащих УТ (раздел 4) и сенсibilизации синглетного кислорода углеродными точками (раздел 5).</p>
	<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:  1) <u>критический анализ есть</u>;  2) <u>анализ частичный</u>;  3) <u>анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</u></p>	<p>Предложенные автором новые решения по увеличению квантового выхода флуоресценции УТ посредством их <math>S_3N_3</math>- и <math>O_3N_3</math>-допирования, по усилению люминесценции УТ под действием плазмонного эффекта наночастиц серебра и золота, сенсibilизации синглетного <math>^1\Delta_g</math> кислорода углеродными точками без и в присутствии плазмонных наночастиц металлов и др. хорошо аргументированы. Там, где это было возможным, полученные данные были сравнены с известными в литературе. Можно порекомендо-</p>

	5. Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые</u>;</p> <p>2) <u>частично новые</u> (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) <u>не новые</u> (новыми являются менее 25%)</p>	<p>вать, чтобы такое сравнение проводилось с конкретными литературными данными, а не только указывать, что они хорошо совпадают с этими данными, что больше подходит для статей, чем для диссертации.</p> <p>Несмотря на присутствие в литературе многих научных исследований по углеродным квантовым точкам, проявление их оптимальных оптических свойств зависит от выбранного метода, условий их синтеза и состава. Поэтому можно сказать, что научные результаты и положения по полученным спектральным и люминесцентным характеристикам S<sub>2</sub>N- и O<sub>2</sub>N-допированных УТ, синтезированных различными методами в заданных условиях, по влиянию на их излучение плазмонных наночастиц металлов, а также по влиянию самих УТ на активацию молекулярного кислорода являются полностью новыми.</p>
	5.2 Выводы диссертации являются новыми?	<p>1) <u>полностью новые</u>;</p> <p>2) <u>частично новые</u> (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) <u>не новые</u> (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Сделанные в диссертации довольно подробные выводы по изученным спектральным и люминесцентным свойствам S<sub>2</sub>N- и O<sub>2</sub>N-допированных УТ, предложенным механизмам увеличения интенсивности их быстрой и замедленной флуоресценции и фосфоресценции под действием плазмонного эффекта наночастиц Ag и Au, а также по механизмам сенсбилизации синглетного кислорода углеродными точками без и в присутствии плазмонных наночастиц металлов основываются на экспериментально полученных результатах и известных данных об электронных переходах в молекуле кислорода, и все они являются новыми.</p>
	5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	<p>1) <u>полностью новые</u>;</p> <p>2) <u>частично новые</u> (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) <u>не новые</u> (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Предложенные технические решения по усилению излучения УТ, влиянию на него плазмонного эффекта наночастиц металлов, сенсбилизации синглетного кислорода под воздействием УТ и плазмонных наночастиц металлов являются полностью новыми и обоснованы выполненными экспериментами с применением современных физико-химических методов исследования и опубликованием их в высокорейтинговых научных журналах.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>	<p>Все основные выводы по результатам проведенных исследований основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах, а именно на экспериментально полученных данных с привлечением современных физико-химических методов синтеза УТ и определения абсорбционных и люминесцентных свойств исследуемых материалов.</p>
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p>	<p>Во Введении диссертации приведены следующие положения, выносимые на защиту:</p> <p>1. S<sub>2</sub>N- и O<sub>2</sub>N-допирование УТ на основе лимонной кислоты приводит к</p>

	<p>1) доказано;  2) скорее доказано;  3) скорее не доказано;  4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?  1) да;  2) нет</p> <p>7.3 Является ли новым?  1) да;  2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения:  1) узкий;  2) средний;  3) широкий</p> <p>7.5 Доказано ли в статье?  1) да;  2) нет</p>	<p>сдвигу спектров поглощения и излучения и увеличению квантового выхода флуоресценции.</p> <p>Это положение доказано на основе экспериментальных исследований по влиянию допирования на абсорбционные и флуоресцентные свойства УТ. Оно не является тривиальным, оно новое. Уровень для применения – широкий, так как открывает возможности для создания УТ с контролируемыми оптическими свойствами. В статье диссертанта эти результаты представлены.</p> <p>2. Плазмонный эффект металлических наночастиц усиливает как быстро, так и длительную люминесценцию УТ.</p> <p>Положение доказано при исследовании влияния плазмонного эффекта наночастиц Ag и Au на флуоресценцию и фосфоресценцию УТ различного состава. Оно является новым, нетривиальным. Уровень для применения можно определить как широкий, несмотря на участие дорогостоящих металлов. В статье диссертанта эти результаты опубликованы.</p> <p>3. Образование синглетного <math>^1\Delta_g</math> кислорода происходит в результате переноса энергии от триплетных УТ к молекулярному кислороду <math>O_2(^3\Sigma_g^-)</math>. Плазмонные наночастицы могут влиять как на процесс передачи энергии, так и на фосфоресценцию <math>O_2(^1\Delta_g)</math>.</p> <p>Положение доказано выполненными экспериментами по изучению сенсibilизации молекулярного кислорода <math>S_2N_2</math>- и <math>O_2N_2</math>-допированными УТ без и в присутствии плазмонных наночастиц Au. Положение является новым, так как впервые предложены электронные механизмы переноса энергии от УТ к молекулярному кислороду и усиления излучения кислорода под воздействием плазмонного эффекта наночастиц золота. Положение нетривиально. Уровень для применения можно определить как широкий, так как и УТ, и активные формы кислорода могут быть использованы в фотодинамической терапии при лечении онкологических и других заболеваний. Результаты исследований по данному положению опубликованы в статье диссертанта.</p>
<p>8. Принцип достоверности  Достоверность источников и предоставляемой информации</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:  1) да;  2) нет</p>	<p>Используемые методы синтеза УТ (гидротермальный и микроволновой) основаны на литературных данных. Для определения оптимальных спектрально-люминесцентных характеристик допированных УТ было изучено влияние на них нескольких факторов, таких как соотношение исходных соединений, температура, продолжительность синтеза. Для повышения квантового выхода излучения допированных УТ проведено экспериментальное исследование по влиянию плазмонных наночастиц золота, синте-</p>

		<p>зированных диссертантом методом лазерной абляции, и наночастиц серебра, островковые плёнки которых получены методом магнетронного напыления и химическим синтезом. Используемые в работе методы исследования достаточно подробно описаны в разделе 2.</p> <p>Структура и морфология УТ исследованы с помощью современных электронных микроскопов – сканирующего (Mira-3 LMU (Tescan) и просвечивающего (JEOLLEM-2100F/Cs/GIF (Jeol)). Также структура синтезированных УТ была исследована с применением методов рентгеновской фотонной спектроскопии (XPS) и ИК спектроскопии. Оптические свойства образцов были изучены с применением спектрофотометра Cary 300 (Agilent Technology) для измерения спектров поглощения и спектров флуориметра Cary Eclipse (Agilent Technology) для измерения спектров люминесценции. Также были использованы спектрометр AvaSpec-ULS2048 (Avantes) для измерения квантового выхода флуоресценции и специальная установка TCSPC (Becker&amp;Hickl) для измерения кинетики затухания люминесценции методом временной корреляции счёта одиночных фотонов. Кинетика затухания длительной люминесценции была определена на спектрометре FLS1000 (Edinburgh Instr.). Фотовозбуждение образцов осуществлялось с помощью лазера LQ529, параметрического генератора света LP604 и генератора второй гармоники LG305 (Solaris). Были использованы и другие вспомогательные приборы и оборудование. Все перечисленные приборы, несомненно, подтверждают достоверность и высокий уровень выполненных научных исследований и полученных результатов в данной диссертации.</p>
<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u>; 2) нет</p>		<p>Сделанные в диссертации теоретические выводы по механизмам переноса энергии в УТ и активации молекулярного кислорода в исследованных системах доказаны и подтверждены экспериментальными данными.</p>
<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием: 1) <u>да</u>; 2) нет</p>		<p>Все важные утверждения в диссертации сопровождаются ссылками на достоверную литературу по данной теме, которая охватывает, главным образом, период с 2010 по 2023 гг. Встречаются ссылки и на классические монографии прошлых лет и на ранее опубликованные работы научных консультантов по данной диссертации. В целом, следует отметить, что объекты исследования – углеродные наноточки – являются новыми, вызывающими интерес у учёных всего мира, поэтому и литература по ним так-</p>
	<p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	

		8.5 Использванные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора	же является новой и актуальной. Обзор литературы выполнен непосредственно по теме диссертационных исследований, насчитывает 232 ссылки и является достаточно полным для определения уровня разработанности темы диссертации. Небольшое замечание: ссылка [128] в тексте не совпадает с указанной в списке литературы.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да; 2) нет  9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет	Помимо практической направленности полученные результаты имеют также теоретическое значение, так как в диссертации изучены механизмы генерации и дезактивации фотовозбуждения в допированных УТ без и в присутствии плазмонных частиц металлов и в молекулярном кислороде под влиянием УТ и плазмонных частиц металлов.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	В целом, полученные в диссертации результаты имеют практическое значение с высокой вероятностью применения их для разработки высокоэффективных материалов для оптоэлектроники, светоизлучающих устройств, в сенсорных технологиях, в фотодинамической терапии для лечения онкологических и других заболеваний. В литературе обсуждают также возможность применения углеродных наноточек, обладающих фотостабильностью и ярким излучением, в светодиодах наравне с известными полупроводниками.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Предложения для практики по усилению излучения УТ, допированными S <sub>2</sub> N- и O <sub>2</sub> N-функциональными группами, под влиянием ряда факторов и плазмонных наночастиц Ag и Au, а также сенсibilизации молекулярного кислорода углеродными точками без и совместно с плазмонными наночастицами металлов являются новыми. Качество академического письма высокое. Однако к оформлению текста диссертации имеется следующее замечание: - не для всех сокращений дано полное их определение (это относится и к рисункам, и к таблицам).
11.	Замечания к диссертации	Диссертация выполнена на высоком научном уровне, однако по содержанию имеются следующие замечания: 1. Углеродные точки, полученные из лимонной кислоты и L-цистеина, определяются как только S <sub>2</sub> N-допированные. В то же время, в структурах этих исходных соединений содержатся атомы кислорода. Так, может, это O <sub>2</sub> S <sub>2</sub> N-допированные УТ? 2. В последнем выводе к разделу 3 указывается, что изучено влияние времени синтеза S <sub>2</sub> N- и O <sub>2</sub> N-допированных УТ на их структурные и оптические свойства. Однако для O <sub>2</sub> N-допированных УТ такие данные в разделе 3 не приведены. 3. УФ-спектры островковых плёнок серебра, полученных двумя разными методами, заметно отличаются (рисунки 2.7 и 2.8). Чем это обусловлено?	

		Упомянутые выше замечания не снижают общий высокий научный уровень диссертации и не носят принципиальный характер.
12.	Заклучение о возможности присуждения степени доктора философии (PhD)	В целом, следует отметить, что диссертационная работа «Трансформация световой энергии углеродными точками различного состава» обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью, соответствует требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства НВО Республики Казахстан. Её автор, Аманжолова Гульнур Сабитовна заслуживает присвоения степени доктора философии (PhD) по специальности «8D05302 - Физика».

**Заклучение о возможности присуждения степени доктора философии (PhD):**

- 1) Присудить Аманжоловой Гульнуре Сабитовне степень доктора философии (PhD) по специальности «8D05302 - Физика».

**Официальный рецензент:**

Зав. лабораторией ТОО «Институт органического синтеза и углеродной химии РК», доктор химических наук, профессор

*Н.М. Иванова*  
(подпись)

Н.М. Иванова  
(ФИО)



Подпись профессора Ивановой Н.М. заверяю.  
Учёный секретарь ТОО «ИОСУ РК», д.х.н., профессор

Т.С. Животова