

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Тимофеева Николая Александровича на диссертацию **Колесникова Ильи Евгеньевича** на тему «Люминесцентная термометрия на основе неорганических, металлоорганических и органических соединений: принципы, подходы и приложения», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Температура является одним из важнейших термодинамических параметров, влияющих и регулирующих скорость и характер физических, химических и биологических процессов. Точное определение температуры позволяет не только понимать ход протекающих процессов и реакций, но также дает возможность контроля и управления ими с помощью обратной связи. Например, температура является ценным диагностическим параметром, который позволяет распознать широкий спектр болезней, начиная от простудных заболеваний и заканчивая намного более серьезными онкологией, инфарктом и другими. В связи с этим постоянно ведутся работы по созданию новых подходов и методов измерения температуры более точными, быстрыми и удобными способами.

Диссертационная работа Колесникова И.Е. «Люминесцентная термометрия на основе неорганических, металлоорганических и органических соединений: принципы, подходы и приложения» посвящена изучению нового метода определения температуры – люминесцентной термометрии. В отличие от большинства традиционных методов использование люминесцентных температурных сенсоров позволяет удаленно считывать температуру, используя термически индуцированную люминесценцию. Это открывает новые возможности для измерений температуры в высоко агрессивных средах, а также для неинвазивных биологических измерений *in vivo* и *in vitro* с высоким пространственным и временным разрешением. Разработка таких методов является чрезвычайно востребованной не только в физике и химии, но, что возможно даже более актуально, в биологии и медицине. Безусловно, **актуальность и практическая значимость** диссертационной работы не вызывают сомнений.

В работе получены следующие **важные новые результаты**.

1. Предложено использование высокоэффективных ратиометрических термометров на базе оксидных наночастиц, легированных редкоземельными ионами (Nd^{3+} , Eu^{3+} , Dy^{3+} , Er^{3+}), использующих для зондирования температурно-связанные возбужденные электронные уровни или штарковские подуровни.

2. Проведено исследование мультипараметрических люминесцентных термометров для биологического диапазона температур на основе свободного и замещенных порфиринов.

3. Для бесконтактной термометрии предложено использование спектрального положения и ширины полосы переноса заряда в кристаллической матрице YVO_4 .

4. Созданы двухцентровые оптические нанотермометры с улучшенной тепловой чувствительностью и температурным разрешением путем смешивания двух нанопорошков, легированных разными редкоземельными ионами.

5. Предложена ратиометрическая термометрия «пик-к-провалу», позволяющая улучшить термометрические характеристики по сравнению со стандартной методикой «пик-к-пику».

6. Предложено использование оксидных наночастиц, легированных ионами неодима, в качестве люминесцентных термометров и многофункциональных агентов для контролируемой фототермической терапии.

7. Проведен расчет максимально достижимой относительной тепловой чувствительности люминесцентных термометров на основе материалов, легированных ионами европия, с помощью расширенной теории Джадда-Офельта.

В качестве **достоинств** представленной работы хотелось бы отметить следующее. Прежде всего – это стиль написания работы. Диссертация написана ясно и понятно даже для ученого, не работающего непосредственно в данной области. При этом практически нет грамматических и стилистических ошибок, что весьма редко для диссертаций. Количество представленного материала поражает: проведены исследования огромного числа веществ, по которым собран широкий спектр данных. Безусловно, это было возможно благодаря тому, что в университете имеется парк современного физико-химического оборудования, прежде всего лазерно-оптического, и автор диссертации использовал это в полной мере. Наконец, полученные данные, с моей точки зрения, открывают новое направление поиска и исследования веществ, пригодных для измерения температуры в физических, химических, биологических и других объектах, что чрезвычайно важно для практических приложений.

Несмотря на отмеченные достоинства диссертационной работы, есть несколько **замечаний**.

1. Проведено исследование очень большого числа веществ, пригодных к использованию в качестве ратиометрических термометров. Следовало бы ожидать, что автор предпримет попытку некоей классификации полученных результатов. Например, хотелось бы видеть выводы о том, какие вещества лучше или хуже для использования и почему. В работе мне удалось усмотреть только одно сравнение – стоксовский и антистоксовский случаи. Возможно, причина сложности классификации лежит в специфике исследуемых объектов. Это следовало бы отметить в работе.
2. Ратиометрический метод представляется как неинвазивный. Но такие термометры должны быть помещены в исследуемый образец, а значит, определенное воздействие на образец неизбежно. Насколько это важно и в каких случаях?
3. Для определения температуры в работе использованы Штарковские подуровни. Из текста диссертации не ясно, использовалось ли при этом внешнее электрическое поле или это было поле, создаваемое внутриатомными структурами. Если последнее, то была ли важна величина напряженности электрического поля?
4. В диссертации не определены некоторые важные понятия и обозначения. Так, термин «ратиотермический» не объяснен. Можно догадаться, что он связан со словом “ratio”. Тематика диссертации лежит в совершенно новой области, исследователи даже из близких областей могут не знать этой терминологии, поэтому следовало бы уделить хотя бы пару предложений этому термину. Второе, аббревиатура LIR не определена. Приходится догадываться, что это “Luminescence Intensity Ratio”. Кстати, насколько термин “Luminescence” здесь уместен, потому что в англоязычной литературе в качестве термина «Люминесценция» обычно используется термин «Флюоресценция» (напр. люминесцентные лампы называются “Fluorescent Lamps”).

Указанные замечания носят частный характер и не снижают высокой оценки представленной работы. Все основные результаты являются новыми, оригинальными и получены автором самостоятельно. Достоверность результатов и выводов работы подтверждается использованием широкого набора современных экспериментальных методов, воспроизводимостью полученных данных, а также согласованностью экспериментальных и теоретических результатов.

Диссертация Колесникова Ильи Евгеньевича «Люминесцентная термометрия на основе неорганических, металлоорганических и органических соединений: принципы, подходы и приложения» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель **Колесников Илья Евгеньевич** заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Председатель диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор,
заведующий кафедрой оптики СПбГУ



Тимофеев Николай Александрович

16 января 2023 г.