

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
Белорусского государственного
университета

А.В.Блохин
19 ноября 2025 г.



ОТЗЫВ

оппонирующей организации

Белорусский государственный университет
по диссертационной работе **Тарковского Викентия Викентьевича**
«Генерационные характеристики лазерных сред на красителях в растворах и
твердотельных матрицах при микро- и наносекундном возбуждении»,
представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Принято на заседании объединенного научного семинара кафедры
лазерной физики и спектроскопии и кафедры физической оптики и
прикладной информатики физического факультета БГУ (протокол от
11 ноября 2025 г. № 5).

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК

Диссертационная работа Тарковского В.В. посвящена установлению основных закономерностей генерации кумариновых красителей в растворах и твердотельных матрицах. Содержание диссертационной работы и приведенные в ней результаты полностью соответствуют следующим пунктам раздела «Области исследований» паспорта специальности 01.04.21 – лазерная физика и отрасли «физико-математические науки»:

2. Физика активных сред (атомных и молекулярных газов, кристаллов и стекол, полупроводников, жидких и полимерных материалов и др.), используемых для усиления и генерации оптического излучения.

9. Лазеры на основе органических красителей.

2. Научный вклад соискателя в разработку научной проблемы с оценкой его значимости

Диссертация Тарковского В.В. посвящена исследованию активных сред лазеров на красителях, выявлению протекающих в них фотоиндуцированных процессов и установлению закономерностей лазерной генерации, что

является развитием работ по лазерам на сложных органических соединениях (красителях); пионерские работы в этой области были выполнены в Институте физики АН БССР в 1967 г.

Актуальность исследований определяется получением перестраиваемой по частоте лазерной генерации в кумариновых красителях в растворах и твердотельных матрицах и построением на их основе лазерных систем с более высокой эффективностью генерации и ресурсом работы. Несмотря на синтез многочисленных красителей, перекрывающих спектральную область от ультрафиолетового до инфракрасного излучения, немногие из них отличаются фотостойкостью и высоким коэффициентом преобразования излучения накачки. Несомненный практический интерес представляют твердотельные лазерные элементы на красителях, включая активные элементы на основе композита нанопористое стекло-полимер, которые характеризуются высокой механической и лучевой прочностью, хорошими термооптическими характеристиками.

Диссертационная работа Тарковского В.В. выполнена на стыке лазерной физики и молекулярной спектроскопии. Им проведено систематическое исследование влияния молекулярных структурных факторов на фотофизические процессы в новых красителях кумаринового класса, позволившее создать на их основе жидкостные и твердотельные лазеры на красителях с более высокой эффективностью генерации и фотостабильностью. Впервые получена генерация в спектральной области 730–740 нм на красителях кумаринового класса – производных бензопирилия, генерация производных 3-(2-бензимидазолил) кумарина в спектральном диапазоне 490–580 нм, а также генерация красителей (пирометены, феналемины, перилена), внедренных в нанопористое стекло – полимер.

Таким образом, диссертационная работа Тарковского В.В. содержит новые научные результаты, совокупность которых является крупным достижением в разработке новых активных сред для лазеров на красителях.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Основные результаты диссертации Тарковского В.В., за которые может быть присуждена учёная степень доктора физико-математических наук, и выносимые на защиту положения являются новыми и оригинальными. Наиболее важные из них следующие:

- получена генерация в спектральной области 730–740 нм на красителях кумаринового класса – производных бензопирилия и определен механизм влияния на генерационную способность растворителей и заместителей в 7-м положении кумаринового кольца;

- выявлены спектрально-генерационные свойства двух новых производных кумарина и показано, что удлинение цепи сопряжения у

кумариновых красителей позволяет сместить спектры поглощения и люминесценции в красную область спектра (600–640 нм);

- в условиях когерентной накачки излучением эксимерного *XeCl*-лазера получена генерация производных 3-(2-бензимидазолил) кумарина в спектральном диапазоне 490–573 нм с генерационной эффективностью порядка 20 % и высокой фотохимической устойчивостью;

- в условиях когерентной микросекундной накачки получена генерация пяти красителей (пирометены, феналемины, перилена), внедренных в нанопористое стекло – полимер и определены их энергетические и генерационные характеристики – при накачке излучением с длиной волны 525 нм максимальная эффективность генерации составила 32 % для феналемина, 512, 47 % – пиррометена 580 и 40 % – перилена, при этом максимальная энергия генерации для пиррометена 580 составила 250 мДж, а для перилена – 380 мДж;

- показано, что применение водно-этанольных растворов позволяет увеличить эффективность генерации и фотостабильность лазерных красителей за счет большего смещения полосы в канале триплетных уровней по сравнению с синглетными уровнями, при этом выдвинуто предположение, что в водно-этанольном растворе молекулы воды окружают и стабилизируют молекулу красителя, предохраняя ее от разрушения УФ-излучением;

- показано, что эффект увеличения фотостабильности красителей также дает применение комплексов красителей с β -циклодекстрином в этанольных и водно-этанольных растворах;

- объяснена аномалия в зависимости эффективности генерации от длины волны излучения накачки при микросекундном когерентном возбуждении основных наиболее эффективных классов красителей (кумариновых, родаминовых, оксазиновых красителей, DCM, феналемина 160) в растворах и твердотельных матрицах, для которой КПД генерации достигает двух максимумов при отстройке частоты возбуждения от максимума основной полосы поглощения красителя в коротковолновую и длинноволновую области спектра; установлено, что снижение КПД генерации в максимуме полосы поглощения с основного уровня связано с поглощением излучения с возбужденных синглетных уровней, приводящим к образованию обратимых фотопродуктов, поглощающих в полосе люминесценции.

Практическое значение полученных результатов заключается в повышении эффективности лазерной генерации и ресурса работы активной среды лазеров на красителях кумаринового класса. Новые кумариновые соединения перспективны для возбуждения генерации в титан-сапфировом лазере при микросекундной когерентной накачке. Результаты работы внедрены в образовательный процесс физико-технического факультета УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы».

4. Замечания по диссертации

При общей положительной оценке диссертационной работы необходимо сделать ряд замечаний:

1. При рассмотрении микросекундного твердотельного лазера на основе композита (нанопористое стекло – полимер), активированного красителем, делается предположение, что увеличение расходимости лазерного излучения по сравнению с раствором красителя связано с тепловым изменением показателя преломления, однако никаких количественных оценок, подтверждающих данное предположение, не приведено.

2. Для объяснения так называемой аномалии в зависимости эффективности генерации от длины волны излучения накачки снижение КПД генерации при возбуждении в максимум основной полосы поглощения красителя автор связывает с образованием обратимых фотопродуктов при поглощении излучения с возбужденных синглетных уровней. В то же время, приведенные спектры коэффициента Эйнштейна для поглощения в канале возбужденных синглетных уровней позволяют сделать вывод, что снижение КПД генерации в этой спектральной области может быть объяснено и другими причинами, например, уменьшением коэффициента усиления за счет поглощения с возбужденного уровня, снижающего инверсную населенность, а также формированием тепловой нелинейности вследствие высокой эффективности термализации энергии возбуждения при переходах между возбужденными синглетными уровнями. В работе не приводится информация, что из себя представляют короткоживущие фотопродукты. Имеется только ссылка на работу по лазерному флеш-фотолизу этанольного раствора родамина 6Ж при разных уровнях интенсивности возбуждения.

3. На стр. 162 приведена система кинетических уравнений для шестиуровневой схемы красителя, однако нет пояснений, какие населенности соответствуют синглетным или триплетным состояниям.

4. Все четыре графика, представленные на рис. 4.22, повторяют графики, приведенные ранее на рис. 4.11, два из них совпадают также с рис. 2.9, при этом повторяется и текст – два абзаца на стр. 160 дословно совпадают с тремя абзацами на стр. 81 и 82 и тремя абзацами на стр. 174 и 175. Также вызывает недоумение, что на стр. 81 в тексте приводятся ссылки на собственные работы [5А и 6А], на стр. 160, видимо, ошибочно, ссылки идут на работы [192 и 210], а на стр. 118 ссылка на работу [193].

5. На стр. 13 в разделе «Научная новизна» говорится, что впервые в условиях когерентной накачки (эксиммерный $HeCl$ -лазер) получена генерация на 15-ти соединениях – производных 3-(2-бензимидазолил) и 3-имидазопирил кумарина, а на стр. 206 в разделе «Заключение» написано: «В условиях когерентной накачки излучением эксиммерного $HeCl$ -лазера впервые получена генерация для 12-ти соединений – производных 3-(2-бензимидазолил) и 3-имидазопиридил кумарина». Так на скольких соединениях впервые получена генерация?

6. В работе отсутствует информация о погрешностях измерений, указано, что измерение энергии генерации и накачки осуществлялись измерителями ИМО-2Н, для которых паспортная погрешность измерений не менее 5 %. Поэтому вызывает сомнения точность определения КПД генерации с тремя значащими цифрами, например, в таблице 4.3.

7. Также имеются погрешности в оформлении диссертации и опечатки.

Указанные замечания не сказываются на научном уровне работы и не изменяют в целом положительной оценки диссертационного исследования.

5. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Анализ содержания диссертации подтверждает высокую квалификацию Тарковского В.В. в области активных сред для лазеров на красителях. Результаты диссертационного исследования были представлены на международных научных конференциях и опубликованы в рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналах (72 статьи, из них 32 из списка ВАК), среди которых «Квантовая электроника», «Оптика и спектроскопия», «Журнал прикладной спектроскопии», «Nonlinear Phenomena in Complex Systems», «Оптика атмосферы и океана», «Известия высших учебных заведений. Физика», «Вести Национальной академии наук Беларуси», «Журнал Белорусского государственного университета. Физика», «Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне». С учётом научного уровня публикаций можно заключить, что научная квалификация Тарковского В.В. соответствует искомой учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертационная работа Тарковского Викентия Викентьевича «Генерационные характеристики лазерных сред на красителях в растворах и твердотельных матрицах при микро- и наносекундном возбуждении» является завершённым самостоятельным квалификационным исследованием, которое соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук (Глава 3 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий), и заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика за:

- установление закономерностей лазерной генерации и объяснение аномальной зависимости эффективности генерации от спектрального состава излучения накачки при микро- и наносекундном когерентном возбуждении основных наиболее эффективных классов красителей (кумариновых, родаминовых, оксазиновых красителей, DCM, феналемина 160) в растворах и твердотельных матрицах;

- получение в условиях когерентной накачки излучением эксимерного XeCl -лазера генерации соединений – производных 3-(2-бензимидазолил)

кумарина в спектральном диапазоне 490–573 нм, обладающих высокой генерационной эффективностью и высокой фотохимической устойчивостью;

– получение генерации в спектральной области 730–740 нм на красителях кумаринового класса – производных бензопирилия и определение механизма влияния на генерационную способность растворителей и заместителей в 7-м положении кумаринового кольца;

– выявление спектрально-генерационных свойств новых производных кумарина, позволивших создать активные среды лазеров и определить оптимальные условия генерации в красной области спектра (600-640 нм);

– получение в условиях когерентной микросекундной накачки генерации красителей (пирометены, феналемины, перилена), внедренных в нанопористое стекло, и определение характеристик генерации.

Отзыв обсужден после заслушивания доклада соискателя на заседании объединенного научного семинара кафедры лазерной физики и спектроскопии и кафедры физической оптики и прикладной информатики физического факультета БГУ (протокол № 5 от 11.11.2025). Присутствовали: д.ф.-м.н., проф. Козадаев К.В., заведующий кафедрой физической оптики и прикладной информатики (председатель научного семинара); д.ф.-м.н., проф. Толстик А.Л., заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии (эксперт); д.ф.-м.н., проф. Воропай Е.С., профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии; д.ф.-м.н., доцент Новицкий А.В., профессор кафедры физической оптики и прикладной информатики; д.ф.-м.н., проф. Могильный В.В., профессор кафедры физической оптики и прикладной информатики; к.ф.-м.н., доцент Тарасов Д.С., доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии; к.ф.-м.н., доцент Ермалицкая К.Ф., доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии; Даденков И.Г., старший преподаватель кафедры лазерной физики и спектроскопии.

Всего 8 человек, из них: 5 докторов наук, 2 кандидата наук.

Слушали доклад Тарковского Викентия Викентьевича, который изложил краткое содержание, основные положения и выводы представленной диссертации. С проектом отзыва оппонировавшей организации выступил эксперт оппонировавшей организации д.ф.-м.н., профессор Толстик А.Л., назначенный приказом ректора БГУ от 10.11.2025 № 621-ОД.

В обсуждении диссертации приняли участие: профессор Воропай Е.С., профессор Козадаев К.В., профессор Толстик А.Л., профессор Могильный В.В., доцент Новицкий А.В., доцент Ермалицкая К.Ф., доцент Тарасов Д.С.

В голосовании приняли участие 7 членов семинара, имеющие ученые степени. Результаты открытого голосования: «За» – 7, «Против» – нет, «Воздержались» – нет.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Рекомендовать к защите диссертацию Тарковского Викентия Викентьевича на тему «Генерационные характеристики лазерных сред на красителях в растворах и твердотельных матрицах при микро- и наносекундном возбуждении», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

2. Одобрить заключение оппонирующей организации.

Председатель объединенного
научного семинара –

доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
физической оптики и прикладной
информатики физического

факультета БГУ



К.В.Козадаев

Эксперт –

доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
лазерной физики и спектроскопии
физического факультета БГУ



А.Л.Толстик

Ученый секретарь объединенного
научного семинара –

кандидат физико-математических
наук, доцент, доцент кафедры
лазерной физики и спектроскопии
физического факультета БГУ



К.Ф.Ермалицкая