

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шамшурина Алексея Валерьевича
«Усиление света в молекулах селективно по состояниям ориентированных
внешним полем», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Диссертация А.В. Шамшурина посвящена теоретическому исследованию условий для усиления света без инверсии населенностей в двухуровневых дихроичных молекулах ориентированных селективно по состояниям внешним полем. Данная работа является развитием идеи высказанной ранее А.К. Поповым и В.В. Слабко о возможности такого усиления во внешнем постоянном электрическом или электромагнитном поле. Полученная в диссертации система нестационарных кинетических уравнений позволяет описать ориентацию молекул под воздействием ориентирующего поля с учетом вероятностей переходов между рабочими уровнями, времени установления ориентационного равновесия, населенностей уровней, параметров ориентации молекулы в основном и возбужденном состояниях, длительности ориентирующего импульса и его фронта.

Актуальность темы диссертации определяется тем, что создание условий для усиления света без инверсии населенностей, т.е. в термодинамически равновесной среде, позволит, в частности, решить проблему генерации коротковолнового излучения, поскольку традиционные подходы, основанные на создании инверсии, оказываются неэффективными либо технически сложными для реализации. Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы при разработке новых типов лазеров коротковолнового диапазона, однонаправленных оптических усилителей, усовершенствованных квантовых фотонных приборов.

Научная новизна представленной работы заключается в том, что в ней получен ряд новых результатов:

1. Получена система нестационарных кинетических уравнений, связывающая функции распределения по ориентациям дихроичных молекул в основном и возбужденном состояниях под действием ориентирующего поля. Предложен и обоснован алгоритм численного решения этой системы;

2. Исследованы особенности усиления при различном соотношении между временем жизни возбужденного состояния и временем установления ориентационного равновесия. Показано, что жесткие требования, введенные ранее А.К. Поповым и В.В. Слабко, могут быть ослаблены;

Вх. № 287-03/6224/44
от 03.09.2025 г.

3. Обнаружен и описан эффект выброса коэффициента усиления на переднем фронте при включении ориентирующего поля, приводящий к его кратному увеличению по сравнению с квазистационарным случаем. Исследованы характеристики влияния фронта ориентирующего поля на поведение коэффициента усиления.

Научную новизну и значимость полученных результатов подтверждает их опубликование в рецензируемых журналах, а также их активное обсуждение в рамках выступлений на российских и международных конференциях.

Диссертационная работа А.В. Шамшурина состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 130 страниц текста и 103 ссылки на литературу.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель и основные задачи, аргументируется научная новизна и практическая значимость, формулируются защищаемые положения.

Первая глава диссертации является обзорной. Приведен литературный обзор основных направлений получения усиления света в отсутствии инверсии населенностей. Рассмотрены основные существующие подходы для реализации усиления света, как в двухуровневых, так и многоуровневых системах.

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию подхода, используемого в диссертационной работе. Для описания процесса ориентации двухуровневых дихроичных молекул под воздействием ориентирующего поля с учетом вероятностей переходов между рабочими уровнями, времени установления ориентационного равновесия, населенностей уровней, параметров ориентации молекулы в основном и возбужденном состояниях предложена математическая модель на основе системы кинетических уравнений.

Для решения системы уравнений предложен и обоснован алгоритм численного решения на основе экспоненциальной подгонки. Доказана консервативность и устойчивость разностной схемы. Показано, что в предельных случаях численное решение совпадает с аналитическим решением. Показаны условия сведения нестационарной задачи к стационарной.

В третьей главе исследован установившийся режим ориентации молекул во внешнем поле для изучения влияния соотношения времени жизни возбужденного состояния и времени ориентационного равновесия на усиление пробного излучения. Рассмотрена возможность усиления в среде полярных и неполярных молекул. Показано, что условие малости времени ориентационного равновесия по сравнению с временем жизни возбужденного состояния, приведенное в ранних работах, может быть ослаблено для случая, когда поляризуемость (постоянный дипольный момент или наведенный ориентирующим полем) молекул в основном состоянии больше чем в возбужденном. В

обратном случае продемонстрировано, что усиление возможно в достаточно узкой области величины ориентирующего поля и дальнейшее увеличение не целесообразно. Дана интерпретация этого эффекта. Обоснована необходимость применения лазерного излучения в качестве ориентирующего поля для селективной ориентации неполярных молекул.

В четвертой главе рассмотрены переходные процессы, происходящие при включении ориентирующего поля. При включении ориентирующего поля, вследствие переходных процессов, в начале импульса возникает резкое увеличение коэффициента усиления, которое в дальнейшем переходит в квазистационарный режим. Для описания этого эффекта автор вводит в работе понятия времени и скорости ориентации в поле, содержащие кинетические параметры молекулы, взаимодействующей с буферной средой, а также энергию взаимодействия с ориентирующим полем. На примере ориентации полярных молекул в импульсном электрическом поле показано, что резкий выброс коэффициента усиления обусловлен разной скоростью ориентации молекул в основном и возбужденном состояниях. Что позволяет дополнить критерий эффективности усиления необходимостью учета скорости переходных процессов. Также показано, что учет времени коммутации электрического поля сглаживает данный эффект и при планировании эксперимента это необходимо принимать во внимание. На примере ориентации неполярных молекул в импульсном поле лазерного излучения гауссова вида, показано, что еще одним из критериев при планировании эксперимента является длительность импульса. В диссертации приведен пример объекта для планирования эксперимента: молекулы йода в буферной среде, в качестве ориентирующего поля предложено использовать частоту излучения второй гармоники неодимового лазера. Продemonстрировано, что необходимые минимальные интенсивности ориентирующего поля достижимы за время меньше времени пробы среды.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

В качестве недостатков работы можно указать следующее:

1. В тексте диссертации и автореферата не объясняется, почему выбрано именно такое соотношение параметров ориентации молекул в основном и возбужденном состояниях, и соотношение населенностей уровней.

2. В диссертации и автореферате имеются опечатки и стилистические неточности, так например:

- на стр. 7 5-я строка «а также ориентацию в поле»;
- на стр. 17 3-й абзац, 1-е предложение, второй раз повтор термина «системами» в предложении лишний;

- стр. 36 2-й абзац, 5-я строка, возможно имелось в виду «с усиливаемым полем»;
- на стр. 106 в пункте 4.4.3 «в Гауссовом виде» пропущена буква, однако в автореферате написано правильно;
- в формулах 2.16, 3.1 в одном из аргументов пропущен индекс «0».

Общая оценка работы.

Тем не менее, указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку исследования, результаты которого являются оригинальными, а сама работа выполнена на профессиональном уровне. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты работы. Профиль диссертации соответствует формуле специальности 1.3.6. Оптика.

Считаю, что диссертационная работы Шамшурина Алексея Валерьевича «Усиление света в молекулах селективно по состояниям ориентированных внешним полем» удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.6. Оптика в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней» в действующей редакции. Шамшурин Алексей Валерьевич безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией фотофизики конденсированных сред Иркутского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ ИЛФ СО РАН)

«09» 09 2025

Подпись Зилова Сергея Анатольевича
ученый секретарь ИФ ИЛФ СО РАН
канд. физ.-мат. наук

«1» сентября 2025



Зилов Сергей Анатольевич

Кузнецов Андрей Викторович

Сведения об официальном оппоненте

ФИО	Зилов Сергей Анатольевич
Ученая степень	доктор физико-математических наук
Ученое звание	доцент
Специальность	01.04.07 «Физика конденсированного состояния»
Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук
Структурное подразделение и должность	Лаборатория фотофизики конденсированных сред Иркутского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией
Почтовый адрес организации	г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130а, 664033
Телефон	89642124160
Адрес электронной почты	Saz4422@lenta.ru

Список опубликованных научных работ Зилова Сергея Анатольевича за последние пять лет (2021–2025 гг.) по теме диссертации Шамшурина А.В.:

1. Simulation of the dynamics of single F3+ color centers in LiF crystals / N. D. Krivosheev, S. A. Zilov, V. P. Dresvyanskiy, E. F. Martynovich // Journal of Luminescence. – 2023. – Vol. 257. – P. 119688. – DOI 10.1016/j.jlumin.2023.119688.

2. Мартынович, Е. Ф. Микроспектроскопия единичных центров окраски в щелочно-галоидных кристаллах / Е. Ф. Мартынович, С. А. Зилов, В. П. Дресвянский // Оптика и спектроскопия. – 2023. – Т. 131, № 5. – С. 667-675. – DOI 10.21883/OS.2023.05.55719.73-22.

3. Дресвянский, В. П. Флуктуирующая флуоресценция одиночных центров окраски в кристаллах фторида лития / В. П. Дресвянский, С. А. Зилов, Е. Ф. Мартынович // Оптика и спектроскопия. – 2022. – Т. 130, № 1. – С. 138-145. – DOI 10.21883/OS.2022.01.51901.34-21.

4. Martynovich, E. F. Creation of luminescent defects in crystals by coherent pairs of femtosecond laser pulses / E. F. Martynovich, N. L. Lazareva, S. A. Zilov // Journal of Luminescence. – 2021. – Vol. 234. – P. 117989. – DOI 10.1016/j.jlumin.2021.117989.

5. Кривошеев, Н. Д. Моделирование динамики одиночных центров флуоресценции / Н. Д. Кривошеев, С. А. Зиллов // Вестник Иркутского университета. – 2021. – № 24. – С. 260.

Доктор физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией фотофизики конденсированных сред Иркутского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ ИЛФ СО РАН)

«04» 09 2025

Зиллов Сергей Анатольевич

Подпись Зилова Сергея Анатольевича удостоверяю
ученый секретарь ИФ ИЛФ СО РАН
канд. физ.-мат. наук

«1» сентября 2025

Кузнецов Андрей Викторович

