

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

СибГУ им. М.Ф. Решетнева



Ажбулатов Эдхам Шукриевич

16» сентября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (СибГУ им. М.Ф. Решетнева) 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 механизма усиления света в двухуровневых дихроичных молекулах ориентированных селективно по состояниям внешним полем в отсутствии инверсии населенностей. Этот механизм представляет значительный интерес, как с теоретической, так и с практической точки зрения, поскольку открывает новые перспективы для развития методов генерации когерентного излучения.

В работе рассматривается среда из аксиально-симметричных дихроичных молекул, расположенных в буферной среде, имеющие различные значения энергии взаимодействия с ориентирующим полем в основном и возбужденном состоянии. При воздействии на молекулы ориентирующего поля, благодаря которому молекулы ориентируются избирательно по состояниям, вероятность перехода под действием пробного поляризованного излучения будет различна для переходов из основного (поглощение) или возбужденного (усиление) состояний. Таким образом, возможно усиление света без создания инверсии населенностей.

Исследование основывается на оригинальной идее, предложенной ранее в работах А.К. Попова и В.В. Слабко, о возможности усиления света в системах селективно по состояниям ориентированных внешним полем молекул. В этих работах получено

аналитическое решение для коэффициента усиления в стационарном случае, в приближении малости соотношения между временем установления ориентационного взаимодействия и временем жизни возбужденного состояния. Основная цель рассматриваемой диссертационной работы заключается в установлении условий усиления света в молекулах, селективно по состояниям ориентированных внешним полем в отсутствии инверсии населенностей. При этом в отличие от упомянутых выше работ, предполагается произвольное соотношение времен жизни основного и возбужденного состояний молекул, а также произвольное соотношение времени жизни возбужденного состояния и времени установления ориентационного равновесия, в том числе с учетом нестационарности ориентирующего поля.

Актуальность и практическая значимость работы.

Работа имеет важное значение для создания устройств, преобразующих некогерентное излучение в когерентное. Это особенно актуально для генерации коротковолнового излучения, где традиционные методы, основанные на инверсии населённости, неэффективны или трудно реализуемы.

Общее содержание работы. Диссертация А.В. Шамшурина состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Текст изложен на 130 страницах, содержит 32 рисунка, одну таблицу и список литературы из 103 наименований. По структуре и объему работа соответствует требованиям Положения ВАК к оформлению диссертаций.

Во введении обоснованы актуальность темы, теоретическая и практическая значимость, поставлена цель исследования и определены основные задачи, сформулированы основные результаты, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор теоретических работ, посвященных существующим методам получения усиления света без создания инверсии населенностей. В работе дан краткий экскурс по истории вопроса и рассмотрены основные существующие методы реализации безынверсного усиления света.

Во второй главе теоретически обосновывается подход, примененный в работе. Предложена математическая модель на основе системы нестационарных кинетических уравнений, позволяющая описать процесс 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. Особое внимание уделено описанию метода численного решения этой системы уравнений, основанного на экспоненциальной подгонке. Доказана консервативность и устойчивость разностной схемы. При помощи тестовых задач показано, что с течением времени численное решение выходит

на асимптотику стационарных распределений, в приближениях, полученных в аналитическом виде.

Третья глава посвящена исследованию влияния соотношения времени ориентационного равновесия и времен жизни основного и возбужденного состояний на значение коэффициента усиления, для того чтобы прояснить вопрос о границах использования приближения принятого в ранних работах. Для этого в данной главе исследуется установившийся режим ориентации молекул. На примерах ориентации полярных и неполярных молекул рассмотрено влияние соотношения времен жизни возбужденного и основного состояний и времени ориентационного равновесия, а также величины параметров ориентации на распределение статистических функций и значение коэффициента усиления. Показано, что в случае, когда поляризуемость (постоянный дипольный момент или наведенный ориентирующим полем) молекул в основном состоянии меньше чем в возбужденном, усиление возможно в достаточно узкой области значений ориентирующего поля и дальнейшее увеличение ориентирующего поля не целесообразно. В обратном случае, когда поляризуемость молекул в основном состоянии больше, чем в возбужденном, увеличение ориентирующего поля ведет к подавлению поглощения и усиление достигается при больших значениях ориентирующего поля. Данному эффекту дана интерпретация и это утверждение вынесено в отдельное научное положение.

В четвертой главе исследованы переходные процессы, происходящие при включении ориентирующего поля. При рассмотрении процесса усиления пробного поля в молекулах при воздействии ориентирующего импульсного поля в начале импульса обнаружено резкое увеличение коэффициента усиления, которое в дальнейшем переходит в квазистационарный режим, объясняемое автором переходными процессами. Для описания этого эффекта в работе введены понятия времени и скорости ориентации в поле, содержащие кинетические параметры молекулы, взаимодействующей с буферной средой, а также энергию взаимодействия с ориентирующим полем. Наличие резкого выброса объясняется следствием разных скоростей ориентации молекул в основном и возбужденном состояниях, обусловленных различными энергиями взаимодействия молекулы с ориентирующим полем. Это позволяет автору сделать вывод, что учет переходных процессов позволит значительно увеличить усиление вплоть до смены поглощения на усиление. Это утверждение вынесено в отдельное научное положение. В работе учтено и показано что, поскольку в реальных условиях ориентирующее поле включается не мгновенно, учет времени коммутации при включении электрического поля ослабит данный эффект.

Рассмотрены переходные процессы при усилении пробного излучения в системе неполярных молекул, ориентированных селективно по состояниям во внешнем поле лазерного излучения. На примере ориентации в импульсном поле гауссова вида показано что при длительности импульса сравнимой с временем ориентации в поле переходные процессы успевают пройти и усиление стабилизируется. Уменьшение продолжительности импульса приводит к тому, что усиление не успевает достичь максимального значения. Таким образом, автор делает вывод, что одним из критериев эффективности усиления при ориентации в лазерном поле становится — длительность импульса. В качестве объекта для дальнейшего планирования эксперимента приведен расчет минимальной интенсивности ориентирующего поля для усиления пробного излучения молекулами йода в буферной среде. Для ориентации молекул предлагается применять излучение на частоте второй гармоники неодимового лазера. Показано, что требуемая минимальная интенсивность поля достигается быстрее, чем наступает пробой среды.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационном исследовании.

Основные научные результаты и их новизна.

Основные научные результаты диссертационной работы изложены автором в форме защищаемых научных положений следующим образом:

1. Разработанная модель адекватно описывает процессы усиления пробного излучения в системе селективно по состояниям ориентированных внешним полем молекулах, что подтверждается в предельных случаях совпадением с аналитическим решением, консервативностью и устойчивостью использующейся разностной схемы.

2. В случае, когда энергия взаимодействия молекулы с ориентирующим полем в основном состоянии больше, чем в возбужденном увеличение значения ориентирующего поля приводит к существованию усиления даже если время ориентационной релаксации сравнимо с временем жизни возбужденного состояния. Последнее связано с подавлением вероятности перехода из основного состояния в возбужденное. Данное утверждение справедливо как для полярных, так и неполярных молекул.

3. Наличие резкого выброса коэффициента усиления при включении ориентирующего поля обусловлено переходными процессами ориентации молекул и связано с разностью скоростей ориентации молекул в поле в основном и возбужденном состоянии. При этом величина этого выброса растет с увеличением ориентирующего поля и разностью между энергией взаимодействия молекулы с ориентирующим полем в основном и возбужденном

состояниях, а длительность уменьшается. Учет переходных процессов позволяет значительно увеличить усиление (в несколько раз), вплоть до смены поглощения на усиление.

Данные научные положения являются обоснованными, доказанными, они сформулированы впервые и являются новыми.

Диссертационная работа не свободна от **недостатков**. К ним следует отнести следующие:

1. В данной работе рассмотрены процессы в осесимметричных молекулах, нельзя ли этот подход распространить на более структурно сложные молекулы?

2. В обзоре указаны в основном работы до 2000 года, из 65 ссылок можно найти 5-7 статей до 2021 года. С чем это связано?

3. Кроме этого в работе встречаются некоторые небрежности в оформлении и грамматические особенности, например:

- на стр. 30, 2-й абзац, 1-я строка: «создать условия усиления света», возможно автор имел в виду «создать условия для усиления света»;

- на стр. 34, 2-й абзац, 1-я строка: возможно опечатка «между основным и возбужденным состояний», возможно автор имел в виду «состояниями»;

- на стр. 40, 1-й абзац, 1-я строка: предложение «Действительно, при возбуждении молекулы из основного состояния (I), находящегося в ориентационном равновесии с окружением и характеризующимися параметрами» стоило правильно написать так: «Действительно, при возбуждении молекулы из основного состояния (I), находящейся в ориентационном равновесии с окружением и характеризующейся параметрами».

Сделанные замечания не снижают научной ценности представленной диссертационной работы, которая является завершенным исследованием. Все основные результаты отражены в публикациях автора. Полученные в работе результаты соответствуют поставленным целям, соответствие темы диссертации и специальности 1.3.6. Оптика не вызывает сомнений. Автореферат диссертации оформлен согласно требованиям нормативно-методических документов, правильно отражает содержание диссертации и полностью ему соответствует.

Таким образом, работа Шамшурина А.В. представляет собой важный вклад в развитие современных представлений о процессах взаимодействия света с веществом и открывает новые горизонты для дальнейших исследований и разработок в области квантовой оптики и лазерных технологий.

Представленная диссертация 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 заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Доклад Шамшурина А.В. по материалам диссертационной работы заслушан и обсужден на заседании кафедры физики института космической техники СибГУ им. М.Ф. Решетнева. Отзыв на диссертационную работу и автореферат «Усиление света в молекулах селективно по состояниям ориентированных внешним полем» Шамшурина Алексея Валерьевича рассмотрен и утвержден на заседании кафедры физики института космической техники СибГУ им. М.Ф. Решетнева, протокол заседания № 2 от 12.09.2025 г.

Отзыв составил:

Доктор физико-математических наук (специальность 01.04.11 – Физика магнитных явлений), профессор, заведующий кафедрой физики института космической техники СибГУ им. М.Ф. Решетнева

«12» сентября 2025 г.

Аплеснин Сергей Степанович

Подпись Аплеснина Сергея Степановича заверяю

Ученый секретарь СибГУ им. М.Ф. Решетнева, к.и.н, доцент

«12» сентября 2025 г.



Гончаров Александр Евгеньевич

Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе Шамшурина Алексея Валерьевича
«Усиление света в молекулах селективно по состояниям ориентированных
внешним полем», представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	Сибирский университет науки и технологий; СибГУ им. М.Ф. Решетнева; Сибирский государственный университет
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Почтовый индекс, адрес организации	660037, Красноярский край, г. Красноярск, просп. им. газеты "Красноярский рабочий", дом 31.
Веб-сайт	https://www.sibsau.ru/
Телефон	8 (391) 264-00-14, 8(391) 266-03-87, 8 (391) 291-90-56
Адрес электронной почты	info@sibsau.ru
Полное наименование структурного подразделения, составившего отзыв (название кафедры, отдела, лаборатории)	кафедра физики института космической техники

Список основных публикаций работников ведущей организации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций):

1. Aplesnin, S.S. Coexistence of the electric polarization and conductive current in the bismuth–neodymium ferrite garnet films / S.S. Aplesnin, A.N. Masyugin, M.N. Volochaev, T. Ishibashi // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2021 – V. 32. – pp. 3766–3781. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-05121-9>.

2 Aplesnin, S.S. Magnetoresistance and IR Spectrum of Impurity States in the $\text{Ce}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ Film / S.S. Aplesnin, A.N. Masyugin, V.V. Kretinin, S.O. Konovalov, N.P. Shestakov // *Physics of the Solid State*. – 2021. – V. 63, N. 2. – pp. 242–247. DOI: 10.1134/S1063783421020025.

3, Romanova, O.B. Structural and electronic transitions in thulium-substituted manganese selenide / O.B. Romanova, S.S. Aplesnin, M.N. Sitnikov, L.V. Udod, A.V. Shabanov, K.I. Yanushkevich, A.I. Galyas, A.M. Zhivulko // *Ceramics International*. – 2022. – V. 48, Iss. 20. – pp. 29822–29828. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.244>.

4 Aplesnin, S.S. Effect of the Electrical Inhomogeneity on the Magnetocapacitance Sign Change in the $\text{HoxMn}_{1-x}\text{S}$ Semiconductors upon Temperature and Frequency Variation / S.S. Aplesnin, M.N. Sitnikov, A.M. Kharkov, H. Abdelbaki // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. – 2023. – V. 34. – P. 284. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-09731-3>.

5. Udod, L.V. Structural and Magnetic Transitions in the $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9/\text{BiFeO}_3$ Composite / L.V. Udod, S.S. Aplesnin, M.N. Sitnikov, E.V. Eremin, M.S. Molokeev, A.V. Shabanov, O.B. Romanova, A.M. Kharkov // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2023. – V. 957, N. 2. – p. 170445. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.170445>.

6. Удод, Л.В. Смягчение решеточных мод в области структурных фазовых переходов в композите $\text{Bi}_2(\text{Sn}_{0.7}\text{Fe}_{0.3})_2\text{O}_7/\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$ / Л.В. Удод, С.С. Аплеснин, М.Н. Ситников, О.Б. Романова, Х. Абдельбаки // *Оптика и спектроскопия*. – 2023. – Т. 131, № 8. – с. 1065–1074. DOI: 10.21883/000000000000.

7. Романова, О.Б. Физические и оптические свойства поликристаллических пленок $\text{Cu}_{0.27}\text{Ga}_{1.85}\text{Se}_{1.88}$ и $\text{Cu}_{0.33}\text{Ga}_{1.54}\text{Se}_{2.13}$, синтезированных методом управляемой селенизации / О.Б. Романова, Ю.В. Герасимова, Т.М. Гаджиев, С.С. Аплеснин, А.С. Александровский, М.Н. Ситников, М.А. Алиев, Л.В. Удод, Х. Абдельбаки // *Физика твердого тела*. – 2023. Т. 65, № 10. – с. 1698–1707. DOI: 10.21883/FTT.2023.10.56316.90.

8. Aplesnin, S.S. Regulation of the thermopower and ultrasound by magnetic field in manganese sulfide doped with variable-valence ions / S.S. Aplesnin, A.M. Kharkov, M.N. Sitnikov // *The European Physical Journal Plus*. – 2024. – V. 139. – p. 247. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-024-05032-2>.

9. Udod, L.V. Raman Scattering Study of Structural Phase Transitions in the Iron-Substituted of Bismuth Pyrostannat/Mullite Composite / L.V. Udod, S.S. Aplesnin, O.B. Romanova, A.S. Krylov // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. – 2024. – V. 88, Suppl. 2. – pp. S206–S210.

10. Udod, L.V. Structural and magnetic transitions in the $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9/\text{BiFeO}_3$ composite / L.V. Udod, S.S. Aplesnin, M.N. Sitnikov, E.V. Eremin, M.S. Molokeev, A.V. Shabanov,

