

**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**

Работа лазера основана на квантово-механическом явлении стимулированной эмиссии. Суть процесса заключается в том, что фотон, взаимодействуя с возбужденным атомом или молекулой в активной среде, вызывает излучение второго, идентичного первому фотона, что приводит к усилению света и образованию когерентного лазерного луча. Условием работы лазера является инверсия населенностей, когда населенность возбужденного уровня больше населенности основного состояния. Для создания инверсной населенности среды лазера используются различные механизмы. В обычном подходе используют 3-х или 4-х уровневые схемы с определенными соотношениями времён жизни на уровнях. Однако это не единственный способ обеспечить невзаимность взаимодействия электронов на рабочих (основном и возбужденном) уровнях с усиливаемым излучением. В диссертации рассматривается один из способов для нарушения симметрии между двумя уровнями, а именно использование различия поляризуемости в верхнем и нижнем состояниях. Действительно, при наложении на активную среду ориентирующего поля происходит селективное выравнивание молекул. Это может обеспечить эффективное оптическое переключение с поглощения на усиление посредством подавления поглощения поляризованного резонансного излучения молекулами нижнего уровня, в то время как молекулы верхнего уровня продолжают усиливать это излучение индуцированным испусканием. Данная схема также может отчасти называться "безынверсным усилением света", так как общая населенность верхнего уровня может быть меньше населенности нижнего. Однако, инверсия населенности необходима хотя бы для части молекул в соответствии с функцией распределения по углам к ориентирующему полю.

Для исследованной в диссертации схемы безынверсного усиления не обязательно требование метастабильности верхнего уровня а также не нужны дополнительные уровни, чтобы создать инверсную заселенность. Поэтому она может быть использована для генерации коротковолнового излучения, где обычные методы труднореализуемы. Ещё одной областью применимости безынверсного усиления является преобразование некогерентного излучения в когерентное. Эти возможные применения обосновывают актуальность и практическую значимость диссертационной работы.

Исследования, проведенные в диссертации, являются развитием идей, опубликованных в серии работ А.К. Попова и В.В. Слабко по усилению оптического излучения ориентированными внешним полем дихроичными молекулами в отсутствие инверсии населенностей. В частности, в диссертации получены новые важные результаты:

1. Использование импульсного поля с длительностью порядка 10^{-10} секунды позволяет повысить порог пробоя и в ряде случаев реализовать условия положительного усиления.
2. Увеличение значения параллельного ориентирующего поля за счет использования импульсов не приводит к соответствующему возрастанию усиления для случая, когда поляризуемость возбужденного состояния больше чем основного в квази-стационарном случае.
3. В случае, когда поляризуемость в основном состоянии больше, чем в возбужденном, увеличение значения перпендикулярного ориентирующего поля

приводит к возрастанию усиления, что связано с подавлением поглощения усиливаемого излучения основным уровнем.

4. При включении ориентирующего поля происходит резкое увеличение коэффициента усиления, что обусловлено переходными процессами ориентации молекул и связано с разностью времен ориентации молекул в поле в основном и возбужденном состоянии. При этом величина этого выброса растет с увеличением ориентирующего поля и разностью между параметрами ориентации основного и возбужденного состояний, а длительность уменьшается.

Эти и другие новые результаты, опубликованные в рецензируемых журналах и представленные на конференциях, определяют научную новизну диссертационной работы.

Работа состоит из введения, четырех разделов, основных выводов и списка литературы. Во введении приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи, отражена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены научные положения, выносимые на защиту, личный вклад соискателя, а также апробация работы и структура диссертации. Первая глава посвящена обзору существующих способов получения усиления света в отсутствие традиционной инверсии заселенностей. Выделены основные направления, в которых прослеживается единая идея, положенная в основу усиления без инверсии. Сформулированы основные задачи и пути исследования по теме диссертации. Во второй главе рассматривается теоретическое обоснование возможности безинверсного усиления света молекулами за счет их селективной ориентации по состояниям путем наложения внешнего поля. Представлены основные уравнения и численный метод их решения. Третья глава посвящена исследованию влияния соотношения времен жизни основного и возбужденного состояний и времени ориентации. В четвертой главе анализируются переходные процессы, происходящие при включении ориентирующего поля. В заключении приведены основные научные результаты.

В качестве недостатков работы можно указать следующие:

1. После введения во второй главе зависящих от времени функций распределения $f_{1,2}(t, \theta_0)$, необходимо уточнить, что формулы для коэффициента усиления 2.9, 2.10 меняются, так как концентрации $n_{1,2}$ уже учтены в $f_{1,2}(t, \theta_0)$. Такого уточнения, однако, не было сделано.
2. В секции 3.3 обсуждаются особенности ориентации неполярных молекул, однако не представлены графики функций распределения вероятности $f_{1,2}(\theta_0)$. Было бы проще понять причину полученной зависимости коэффициента усиления (рис. 3.5, 3.7), если бы были приведены графики, подобные рисункам 3.1, 3.2 в секции 3.2, где рассматриваются полярные молекулы.
3. В главе 4, секции 4.3.1, 4.3.2 автор пытается оценить время ориентации молекул в ориентирующем поле $\tau_e^{(1,2)}$, для чего вводит функцию $F_{1,2}^{on}(t)$ (формула 4.3), которую потом использует для вычисления безразмерного коэффициента усиления α' на стр. 91. Однако, если сравнить эту формулу с определениями 2.3, 2.9, 2.10, то правильным выражением будет $F_{1,2}^{on}(t) = 2\pi \int f_{1,2}(t, \theta_0) \cos^2(\theta_0) \sin(\theta_0) d\theta_0$ для $\vec{E}_0 \parallel \vec{E}$ и $F_{1,2}^{on}(t) = 2\pi \int f_{1,2}(t, \theta_0) \sin^3(\theta_0) d\theta_0$ для $\vec{E}_0 \perp \vec{E}$. Если выражение 4.3 не опечатка, то, возможно, в этом причина довольно сильного расхождения расчётной и аппроксимирующей кривой на рисунках 4.4 и 4.5.

4. При рассмотрении переходных процессов удивляет отсутствие анализа влияния эффекта Штарка, который при рассматриваемых предпробойных полях может повлиять на динамику коэффициента усиления.
5. В диссертации и автореферате имеются опечатки и неточности, например:
 - - в формулах 2.16, 3.1 в одном из аргументов пропущен индекс "0"
 - - в формуле 2.19 написано E_0 вместо θ_0
 - - в формуле 2.29 написано h вместо τ
 - - в главе 2 до страницы 60 используется параметры a и b , которые потом внезапно заменяются на η_1, η_2 .

Также автор использует похожие обозначения для разных величин, например: $U_{1,2}$ на рисунке 2.1 и $U_{1,2}(\theta_0, E_0)$, различные $F(\omega)$, F_{ij} , $F_{1,2}^{on}(t)$. Часто автор опускает важные аргументы в определениях функций. Например в формулах 2.16, 2.17, 3.1 $U_{1,2}(t)$ лучше писать как $U_{1,2}(t, \theta_0)$, иначе можно подумать, что операция дифференцирования тривиальна. При представлении конкретных значений параметров τ_e , τ_{imp} , τ_L в главе 4 пропущен множитель τ_0 . Например, конец страницы 91 ($\tau_e^{(1)}=1/2\dots$), середина стр. 101 ($\tau_{imp}=0.1\dots$), середина стр. 107 ($\tau_L=0.6\dots$). Всё это затрудняет чтение диссертации, хотя и не является критически важным для оценки 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 соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты работы. Представленные результаты позволяют сделать вывод, что диссертационная работа Шамшурина Алексея Валерьевича «Усиление света в молекулах селективно по состояниям ориентированных внешним полем» удовлетворяет требованиям, установленным пп. 9-11, 13-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24.09.2013), предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям. Шамшурин Алексей Валерьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории теории нелинейных процессов Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (ИФ СО РАН), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

«22» сентября 2025

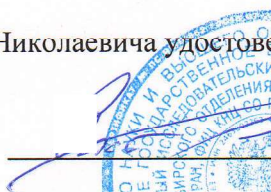
 Пичугин Константин Николаевич

Подпись Пичугина Константина Николаевича удостоверяю

ученый секретарь ИФ СО РАН

канд. физ.-мат. наук

«22» сентября 2025

 Злотников Антон Олегович



Сведения об официальном оппоненте

ФИО	Пичугин Константин Николаевич
Ученая степень	кандидат физико-математических наук
Ученое звание	нет
Специальность	01.04.07 «Физика конденсированного состояния»
Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»
Структурное подразделение и должность	лаборатория теории нелинейных процессов Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, старший научный сотрудник
Почтовый адрес организации	660036 г. Красноярск, Академгородок, 50, строение № 38
Телефон	+79131859637
Адрес электронной почты	knp@tnp.krasn.ru

Список опубликованных научных работ Пичугина Константина Николаевича за последние пять лет (2021–2025 гг.) по теме диссертации Шамшурина А.В.:

1. Bulgakov, E. Sorting of extremely small nanoparticles by membranes supporting symmetry-protected bound states in the continuum / E. Bulgakov, G. Shadrina, A. Sadreev, K. Pichugin // Physical Review B. – 2024. – Т. 110, N. 7. – p. 075305.

2. Bulgakov, E. Super-bound states in the continuum through merging in grating / E. Bulgakov, G. Shadrina, A. Sadreev, K. Pichugin / Physical Review B. – 2023. – Т. 108, N. 12. – p. 125303.

3. Pichugin, K. A series of avoided crossings of resonances in the system of several different dielectric resonators results in giant Q-factors / K. Pichugin, A. Sadreev, E. Bulgakov // Photonics. – 2023. – Т.10, N. 9. – p. 973.

4. Zhang, Z. Super quasibound state in the continuum / Z. Zhang, E. Bulgakov, K. Pichugin, A. Sadreev, Y. Xu, Y. Qin / Physical Review Applied. – 2023. – T.20, N.1. – p. L011003.

5. Pichugin, K. Ultrahigh-Q system of a few coaxial disks / K. Pichugin, A. Sadreev, E. Bulgakov / Nanophotonics. – 2021. – T. 10, N. 17. – p. 4341-4346.

6. Bulgakov, E. Exceptional points in a dielectric spheroid / E. Bulgakov, K. Pichugin, A. Sadreev // Physical Review A. – 2021. – T. 104, N. 5. – p. 053507.

7. Bulgakov, E. Resonant binding of dielectric particles to a metal surface without plasmonics / E. Bulgakov, K. Pichugin, A. Sadreev // Physical Review A. – 2021. – T. 103, N. 5. – p. L051501.

8. Bulgakov, E. Mie resonance engineering in two disks / E. Bulgakov, K. Pichugin, A. Sadreev // Photonics. – 2021. – T. 8, N. 2. – p. 49.

9. Pichugin, K. Exceptional Points through Variation of Distances between Four Coaxial Dielectric Disks / K. Pichugin, A. Sadreev, E. Bulgakov // Photonics. – 2021. – T. 8. – p. 460.

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории теории нелинейных процессов Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (ИФ СО РАН), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

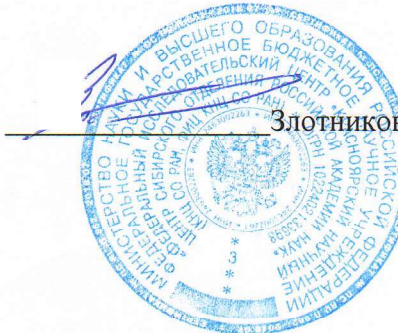
«22» сентября 2025

 Пичугин Константин Николаевич

Подпись Пичугина Константина Николаевича удостоверяю
ученый секретарь ИФ СО РАН

канд. физ.-мат. наук

«22» сентября 2025

 Злотников Антон Олегович