



УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора Института автоматике
и электрометрии СО РАН

чл.-корр. РАН Бабин С.А.

« 03 » _____ 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Савостьянова Александра Олеговича

«Широкодиапазонная криогенная спектромикроскопия одиночных молекул в твердых матрицах: электрон-фононное взаимодействие и спектральная диффузия», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 - Оптика

Диссертационная работа Савостьянова Александра Олеговича посвящена экспериментальному исследованию в области фотолуминесцентной криогенной спектромикроскопии одиночных органических молекул в твердой полимерной матрице. Актуальность избранной темы связана с перспективами использования спектромикроскопии одиночных органических молекул для изучения свойств материала на пространственных масштабах от единиц до нескольких десятков нанометров и ростом интереса к фотонике одиночных молекул для создания устройств для квантовых вычислений и коммуникаций. Во всех этих задачах необходимо хорошо представлять вклад взаимодействия одиночной люминофорной молекулы с окружением и, в частности, с двухуровневыми системами и фононной плотностью колебательных состояний. Поэтому поставленные в диссертационной работе задачи по использованию новых люминесцирующих молекул из класса тетрапирольных соединений, экспериментальному исследованию спектральной диффузии и температурного уширения бесфононных линий одиночных молекул Mg-тетраазапорфирина и тетра-трет-бутилтеррилена в матрице полиизобутилена являются актуальными.

Основное содержание диссертационной работы изложено в четырех главах. *Первая глава* носит обзорный характер, в которой обсуждаются методы селективной

спектроскопии примесных молекул, рассмотрены теоретические основы формирования электронно-колебательных спектров, приведены теоретические выражения и рассматриваются модельные вопросы, связанные с описанием двухуровневых систем и плотности колебательных состояний стекол и их связи с поведением бесфононных линий одиночных люминесцирующих молекул. *Вторая глава* посвящена описанию применяемых в диссертационной работе экспериментальных методов детектирования спектров возбуждения флюоресценции и спектральных траекторий одиночных молекул и описанию исследуемых экспериментальных образцов. *Третья глава* включает в себя представление результатов по исследованию временной динамики бесфононной линии одиночных молекул Mg-тетраазапорфирина и тетра-трет-бутилтеррилена в матрице полиизобутилена в широком спектральном диапазоне и их обсуждение. *Четвертая глава* посвящена представлению результатов по уширению бесфононных линий с ростом температуры, особенностям теоретического описания этого поведения.

Диссертационная работа хорошо структурирована и написана. Ощущается высокий уровень квалификации Савостьянова Александра Олеговича в рассматриваемой области, тщательность его подхода к обсуждаемым вопросам.

К наиболее значимым результатам диссертационной работы можно отнести следующее:

1). Обнаружение фононных крыльев в спектре возбуждения флюоресценции одиночной молекулы, что означает взаимодействие этой молекулы со всеми фононными модами полимера, составляющих эти крылья.

2). Результаты по спектральной диффузии бесфононных линий, которые не могут быть объяснены диполь-дипольным взаимодействием с туннелирующими системами.

3). Вывод о том, что формальное описание температурного уширения бесфононных линий выражениями для слабого электрон-фононного взаимодействия с квазилокализованными колебательными модами может не соответствовать критериям применимости этого подхода при его выводе из более общей теории Осадько.

4). Описание температурного уширения бесфононных линий с учетом возмущений колебательной динамики полимерной матрицы примесными молекулами, при этом эти возмущения описываются как резонансные моды.

Обоснованность и достоверность результатов, выводов и защищаемых положений подтверждается применением развитых современных экспериментальных методов, теории и методов анализа. Достоверность полученных результатов также подтверждается воспроизводимостью экспериментальных результатов, апробацией полученных результатов на научных конференциях и в научных статьях.

Научная значимость и значительный практический интерес заключается в развитии спектроскопии одиночных органических молекул, а также в получении новых фундаментальных знаний.

Соответствие автореферата основным положениям диссертационной работы. Автореферат полностью отражает содержание, научные положения, выводы, научную новизну, фундаментальную и практическую значимость диссертации, а также содержит информацию об основных полученных результатах.

Замечание. Диссертационная работа Савостьянова А.О. не содержит заметных или значимых недостатков. Автор скрупулёзно рассматривает вопросы описания параметров бесфононных линий, фононного крыла и спектральной динамики одиночных флюоресцирующих молекул в матрице, используя формализм уровней примесного центра. Однако для осмысления роли полученных результатов в общем понимании колебательной динамики некристаллических материалов, было бы также полезно сравнить полученную информацию с другими методами изучения колебательной плотности состояний и, особенно, «зондовыми» (например, A.I. Chumakov et al // PRL, 92 (2004) 245508). Также хотелось бы узнать мнение автора о возможном прогрессе в рассматриваемом вопросе с использованием методов численного молекулярного моделирования (решение задачи кластер молекул матрицы и молекулы-хромофора), где рассмотрение вопроса не ограничивается рамками континуального приближения.

Сделанное замечание носит рекомендательный характер, не влияет на качество полученных результатов и не снижает фундаментальной и практической значимости диссертационной работы.

Диссертационная работа Савостьянова А.О. выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой цельное научное исследование, которое содержит решение актуальных научных задач в области фотолюминесцентной криогенной спектроскопии одиночных органических молекул в твердой матрице.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

Диссертация Савостьянова Александра Олеговича «Широкодиапазонная криогенная спектроскопия одиночных молекул в твердых матрицах: электрон-фононное взаимодействие и спектральная диффузия», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Савостьянов Александр Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 - Оптика.

Отзыв на диссертацию Савостьянова Александра Олеговича «Широкодиапазонная криогенная спектроскопия одиночных молекул в твердых матрицах: электрон-фононное взаимодействие и спектральная диффузия» обсужден и утвержден на семинаре УНЦ «Квантовая оптика» ИАиЭ СО РАН 21 марта 2024 г.

Отзыв составлен главным научным сотрудником Института автоматизации и электротехники СО РАН, чл.-корр. РАН, доктором физико-математических наук (специальность 1.3.6. – Оптика), Суровцевым Николаем Владимировичем. Составитель отзыва согласен на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя и их дальнейшую обработку.

Главный научный сотрудник ИАиЭ СО РАН

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.,

Суровцев Николай Владимирович,

«21» марта 2024 г

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), пр. ак. Коптюга, 1, г. Новосибирск, 630090, (383)330-7978,

Электронная почта: snv@iae.nsk.su ; сайт: <https://www.iae.nsk.su/ru/>

Список основных работ сотрудников ИАиЭ СО РАН по тематике диссертации А.О. Савостьянова "Широкодиапазонная криогенная спектроскопия одиночных молекул в неупорядоченных матрицах: электрон-фононное взаимодействие и спектральная диффузия" в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Okotrub K.A., Shamaeva D.V., Surovtsev N.V. Raman spectra of deuterated hydrocarbons for labeling applications, *Journal of Raman Spectroscopy*. 2022. Т. 53. № 2. С. 297-309.
2. Zaytseva Y.V., Surovtsev N.V. Raman scattering in protonated and deuterated 1, 2-dipalmitoyl-sn-glycero-3-phosphatidylcholine (DPPC): Indicators of conformational and lateral orders, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2022. Т. 267. С. 120583.
3. Svajdlenkova H., Bartos J., Sausa O., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V., Novikov V.N. On the Mutual Relationships between Molecular Probe Mobility and Free Volume and Polymer Dynamics in Organic Glass Formers: cis-1,4-poly(isoprene), *Polymers*. 2021. Т.13. № 2. С.1-24.
4. Kojima S., Novikov V.N., Kofu M., Yamamuro O. Nanometric fluctuations of sound velocity in alkali borate glasses and fragility of respective melts, *Physica Status Solidi (B): Basic Solid State Physics*. 2020. Т. 257. № 11. С. 2000073.
5. Zykova V.A., Adichtchev S.V., Novikov V.N., Surovtsev N.V. " Second-order-derivative analysis of structural relaxation time in the elastic model of glass-forming liquids, *Physical Review E*. 2020. Т. 101. № 5. С. 052610.
6. Kurus N.N., Milekhin A.G., Sklyar R.I., Latyshev A.V., Saidzhonov B.M., Vasiliev R.B., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V., Zahn D.R.T. Phonons in Core–Shell CdSe/CdS Nanoplatelets Studied by Vibrational Spectroscopies, *Journal of Physical Chemistry C*. 2022. Т. 126. № 16. С. 7107-7116.
7. Grossman V., Bazarov B.G., Bazarova J.G., Adichtchev S.V., Surovtsev N.V., Atuchin V.V., Pervukhina N.V., Kuratieva N., Oreshonkov A.S. Exploration of the Structural and Vibrational Properties of the Ternary Molybdate $Tl_5BiHf(MoO_4)_6$ with Isolated MoO_4 Units and Tl^+ Conductivity, *Inorganic Chemistry*. 2020. Т. 59. № 17. С. 12681-12689.
8. Atuchin V.V., Aleksandrovsky A.S., Bazarov B.G., Bazarova J.G., Chimitova O.D., Denisenko Y.G., Gavrilova T.A., Krylov A.S., Oreshonkov A.S., Maximovskiy E.A., Molokeevev M.S., Pugachev A.M., Surovtsev N.V. Exploration of structural, vibrational and spectroscopic properties of self-activated orthorhombic double molybdate $RbEu (MoO_4)_2$ with isolated MoO_4 units, *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Т.774. с. 692-697.
9. Dmitriev A.A., Surovtsev N.V. Vibrational eigenmodes of phospholipid layers in low-wavenumber Raman spectrum of multilamellar vesicles, *Journal of Raman Spectroscopy*. 2019. Т. 50. № 11. С.1691-1699.
10. Leonov D.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V. Normal vibrations of ternary DOPC/DPPC/cholesterol lipid bilayers by low-frequency Raman spectroscopy, *RSC Advances*. 2019. Т. 9. № 59. С. 34451-34456.
11. Leonov D.V., Dzuba S.A., Surovtsev N.V., Adichtchev S.V. Vibrational layer eigenmodes of binary phospholipid-cholesterol bilayers at low temperatures, *Physical Review E*. 2019. Т. 99. № 2. С. 022417.