

Заключение диссертационного совета МГУ.013.4  
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 22 декабря 2022 г. №20.

О присуждении Бекину Алексею Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «КАРС-диагностика двуокиси углерода при адсорбции в мезопорах: спектроскопическая идентификация и описание поведения сосуществующих фаз» по специальности 1.3.19 — «Лазерная физика» принята к защите диссертационным советом «1» ноября 2022 г., протокол № 16.

Соискатель Бекин Алексей Николаевич, 1991 года рождения, в 2015 году окончил физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика» со специализацией «Лазерная физика и нелинейная оптика». В 2019 году окончил очную аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Лазерная физика».

С 2020 года по настоящее время соискатель работает в должности инженера 1-ой категории на кафедре общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители — кандидат физико-математических наук, доцент, Морозов Вячеслав Борисович, доцент кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; кандидат физико-математических наук Аракчеев Владимир Генрихович, научный сотрудник кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

- 1) доктор физико-математических наук Першин Сергей Михайлович, главный научный сотрудник лаборатории лазерной спектроскопии Научного центра волновых исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова;
- 2) доктор физико-математических наук Свиридов Александр Петрович, ведущий научный сотрудник лаборатории лазерной химии Института фотонных технологий ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН;
- 3) кандидат физико-математических наук Буриков Сергей Алексеевич, старший научный сотрудник лаборатории лазерной спектроскопии растворов супрамолекулярных соединений и наноструктур, кафедра квантовой электроники, физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова —

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, из них по теме диссертации 5, в том числе 4 научных публикации в рецензируемых журналах, входящих в базы данных Web of Science, Scopus, RSCI и Перечень изданий МГУ и удовлетворяющих Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам). Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии:

1. Arakcheev V. G., **Beikin A. N.**, Morozov V. B. CARS detection of liquid-like phase appearance in small mesopores // Laser Physics. – 2017. – Т. 27. – №. 11. – С. 115701 (**IF по WoS: 1.366**). Вклад автора 35 %.

2. Arakcheev V. G., **Bekin A. N.**, Morozov V. B. Spectroscopic characterization of adsorbate confined in small mesopores: Distinction of first surface-adsorbed layer, polymolecular layers, and liquid clusters // Journal of Raman Spectroscopy. – 2018. – Т. 49. – №. 12. – С. 1945-1952 (**IF по WoS: 3.133**). Вклад автора 35 %.
3. Arakcheev V., **Bekin A.**, Morozov V. Spectroscopic characterization of supercritical carbon dioxide density change under isochoric heating in mesoporous glass // The Journal of Supercritical Fluids. – 2019. – Т. 143. – С. 353-357 (**IF по WoS: 4.577**). Вклад автора 35 %.
4. Arakcheev V. G., **Bekin A. N.**, Morozov V. B. CARS-measurement of adsorption isotherms of carbon dioxide in Vycor glass and CARS-porosimetry // Journal of Raman Spectroscopy. – 2021. – Т. 52. – №. 9. – С. 1507-1514 (**IF по WoS: 3.133**). Вклад автора 50 %.

На автореферат диссертации поступили 2 отзыва – все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются специалистами в области лазерной физики и спектроскопии, а также взаимодействия излучения с веществом и имеют публикации по схожей тематике. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний. Продемонстрированы новые возможности лазерного спектроскопического подхода на основе метода КАРС для исследования адсорбции в прозрачных мезопористых материалах на примере адсорбции двуокиси углерода в мезопористых стёклах. Поверхностно-адсорбированные слои и жидкая фаза были спектроскопически различены и количественно охарактеризованы в мезопорах. Показана возможность оценки среднего диаметра пор мезопористых стёкол на основе спектроскопических данных об адсорбате. Продемонстрирована применимость реализованного подхода для исследования адсорбции сверхкритического флюида и его уплотнения в мезопорах вблизи критической температуры.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов. Реализованный подход на основе метода КАРС применим в исследованиях адсорбционных явлений в объёмных мезопористых материалах. Получаемая спектроскопическая информация позволяет охарактеризовать адсорбат на поверхности и в центральной части объёма пор, что необходимо для более глубокого понимания различных адсорбционных механизмов и верификации соответствующих теоретических моделей. Развитый подход может оказаться полезным в таких прикладных задачах, как секвестрация двуокиси углерода, вытеснение углеводородов двуокисью углерода из горных пород, а также сверхкритическая импрегнация и экстракция.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку. Показано, что

1. Использование нерезонансного фона, обусловленного преимущественно мезопористым стеклом, в качестве референсного сигнала позволяет с помощью метода КАРС-спектроскопии количественно охарактеризовать адсорбцию двуокиси углерода в прозрач-

ных мезопористых силикатных стёклах. При этом для пор с характерным радиусом несколько нанометров могут быть количественно определены вклады в адсорбцию сосуществующих в порах фаз во всём диапазоне давлений вплоть до полного заполнения пор жидкостью.

2. Плотность сверхкритической двуокиси углерода в порах мезопористых силикатных стёкол может быть определена по величине спектрального сдвига Q-ветви высокочастотной компоненты фермиевского дублета  $\nu_1/2\nu_2$ . В стёклах со средним диаметром пор 4 нм и 7 нм полученная таким способом величина уплотнения двуокиси углерода относительно плотности в свободном объёме в окрестности значения 310 Амага вблизи критической температуры 31 °С составила около 50 %.

3. При адсорбции двуокиси углерода в мезопористом стекле Вайкор с диаметром пор 4 нм при температурах -7 °С и -13 °С и давлениях от 1 атм до 7 атм центральная частота и ширина спектра Q-ветви высокочастотной компоненты фермиевского дублета  $\nu_1/2\nu_2$  молекул в монослое, формирующемся на стенках пор, составляют  $1381.0 \pm 0.5 \text{ см}^{-1}$  и  $5.0 \pm 1.0 \text{ см}^{-1}$  соответственно.

4. При температурах -7 °С и -13 °С в мезопористом стекле Вайкор с диаметром пор 4 нм начальный этап формирования, с ростом давления, жидкой фазы двуокиси углерода в объёме пор сопровождается появлением спектрального вклада в районе частоты  $1385.6 \text{ см}^{-1}$  с шириной около  $4 \text{ см}^{-1}$ . При последующем заполнении пор жидкой фазой с переходом её от фрагментированного состояния к более однородному этот вклад не меняет значения центральной частоты, однако сужается до ширины около  $1.6 \text{ см}^{-1}$ , характерной для спектра жидкости в свободном объёме.

На заседании 22 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Бекину Алексею Николаевичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **17** человек, из них **8** докторов наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из **24** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» — **17**, «против» — **0**, недействительных голосов — **0**.

Председатель  
диссертационного совета МГУ.013.4  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Андреев Анатолий Васильевич

Учёный секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.4  
кандидат физико-математических наук

Коновко Андрей Андреевич

Дата оформления заключения: 22 декабря 2022 г.