

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о работе Связова Сергея Владимировича по кандидатской диссертации «Развитие методов ядерной спиновой гиперполяризации на основе параводорода: от получения контрастных агентов до обогащения ядерных спиновых изомеров этилена», представляемой на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Изучение и развитие методов гиперполяризации ЯМР представляет собой как фундаментальный, так и практический интерес, связанный с необходимостью улучшения чувствительности метода ЯМР. Одним из перспективных подходов по гиперполяризации является метод индуцированной параводородом поляризации ядер (ИППЯ). Этот метод основан на использовании ядерного спинового порядка параводорода для значительного усиления сигнала ЯМР интермедиатов и продуктов каталитических реакций гидрирования. Важно отметить, что эффект ИППЯ наблюдается при условии парного присоединения молекулы параводорода к кратной связи субстрата. Таким образом анализ спектров ЯМР по ядрам ^1H от продуктов гидрирования может быть использован для изучения кинетики и механизмов таких реакций в катализе. В целом, парное присоединение водорода обычно не характерно для нанесенных металлических катализаторов. В этом контексте важной задачей является поиск гетерогенных каталитических систем, обеспечивающих значительную долю парного присоединения и изучение факторов, отвечающих за этот процесс. С этой целью в работе Связова С.В. было изучено влияние распределения активного компонента в системах Pd_1 и Pd_n на графен-алмазном композите ND@G на долю парного присоединения водорода в реакции селективного гидрирования пропина.

Катализаторы с высокой активностью в парном присоединении водорода могут быть использованы для обогащения этилена ядерными спиновыми изомерами (ЯСИ) благодаря реакции селективного гидрирования ацетилена параводородом. Теория квантовой релаксации, описывающая процессы взаимопревращения ядерных спиновых изомеров сложных молекул, во многом еще не разработана и требует получения новых экспериментальных данных. Более того, разработка методов обогащения этилена ядерными спиновыми изомерами в значительных количествах может открыть возможности использования этилена с неравновесным содержанием ЯСИ в качестве ЯМР-зонда для изучения механизмов важных промышленных процессов, в которые вовлечен этилен (полимеризация и олигомеризация этилена, метатезис, окисление, алкилирование и др.). С этой целью, в работе были исследованы три каталитические системы, которые ранее показали себя перспективными в контексте парного присоединения водорода, в процессе обогащения ядерных спиновых изомеров этилена. С помощью последующей реакции, раскрывающей симметрию этилена, в работе была детально изучена динамика установления равновесия между ядерными спиновыми изомерами этилена, что открыло совершенно новый набор экспериментальных данных, корректирующих текущее понимание характерных времен превращения изомеров разных классов симметрии друг в друга. Данные результаты однозначно имеют значительную фундаментальную и практическую ценность.

Другим важным применением методов гиперполяризации на основе параводорода является получение гиперполяризованных контрастных агентов, которые могут быть использованы как для фундаментальных исследований метаболизма, так и для продвинутой МРТ-диагностики широкого круга заболеваний. В работе Связова С.В. были использованы два метода на основе параводорода: модификация метода ИППЯ (PHIP-SAH) и метод SABRE. С помощью метода PHIP-SAH были впервые гиперполяризованы два важных метаболита: $[1,3-^{13}\text{C}_2]$ ацетоацетат и $[^{13}\text{C}]$ формиат. В данной работе были выявлены многие проблемы и ограничения метода PHIP-SAH, что критически важно для развития

области методов гиперполяризации на основе PHIP-SAH. Также, в работе впервые в биосовместимой среде был поляризован [$^{15}\text{N}_3$]метронидазол, обладающий значительным диагностическим потенциалом в отношении гипоксичных раковых опухолей. В работе был предложен элегантный химический подход, позволяющий совместить гиперполяризацию и очистку от токсичного катализатора, используемого в SABRE, что открывает путь для дальнейшего применения метронидазола для биомедицинских исследований. Важно отметить, что метаболизм метронидазола в раковых опухолевых все еще остается в значительной степени неизученным и использование гиперполяризованного метронидазола может раскрыть многие детали этого механизма. Таким образом, нет сомнений, что часть работы, посвященная гиперполяризации контрастных агентов имеет значительную ценность для потенциальных биомедицинских применений.

Во время обучения в аспирантуре Свизов С.В. продемонстрировал хорошую теоретическую базу, а также развил практические навыки самостоятельной вдумчивой работы – начиная с постановки задач эксперимента и заканчивая написанием рукописей. Благодаря своей организованности, работоспособности и активности Сергей Владимирович получил важные результаты по тематике работы, которые успешно прошли апробацию на отечественном и международном уровне. По теме квалификационной работы опубликовано 5 статей в отечественных и зарубежных журналах. За время обучения в аспирантуре он был удостоен стипендии президента РФ для аспирантов и адъюнктов (2025) за успехи в учебе и научной деятельности. Сергей Владимирович активно участвовал в отечественных и международных конференциях, включая престижную Международную конференцию по магнитному резонансу EUROMAR (г. Оулу, Финляндия, 2024).

В ходе работы над диссертацией С.В. Свизов освоил современные экспериментальные методы гиперполяризации на основе параводорода – начиная с метода индуцированной поляризации ядер с использованием гетерогенных катализаторов, заканчивая методом поляризации за счет обратимого обмена (так называемый метод SABRE), что отражено в содержании диссертационной работы. По итогу С.В. Свизов сформировался как высококвалифицированный молодой ученый, способный критически анализировать и интерпретировать полученные результаты, а также самостоятельно выбирать оптимальные пути решения сложных задач в области физической химии. Считаю, что диссертационная работа Свизова Сергея Владимировича является цельным научным исследованием, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.17 «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества», а сам он заслуживает присвоения ему степени кандидата химических наук.

Научный руководитель
Кандидат химических наук
н.с. лаб. магнитно-резонансной микротомографии
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт «Международный
томографический центр» Сибирского отделения
Российской академии наук
ул. Институтская 3а, Новосибирск 630090, Россия

Бурусва Дударин Банровна

Тел.: (383) 333-3154

+7 983-309-7959

Эл. почта: burusvaf@tomio.nsc.ru

08 июня 2026 г.

Подпись Д.Б. Бурусва Дударин Банровна
Заведующий отделом кадров А. Поздыкова Е.Е.
08.06.2026

