



Dr. Danila Barskiy
Postdoctoral Scholar
University of California – Berkeley and
Lawrence Berkeley National Laboratory
Berkeley, CA 94720-3220

Tel: 510-642-1220
Fax: 510-666-3768
Email: barskiy@berkeley.edu

September 25, 2019

ОТЗЫВ

На автореферат диссертации **Шеберстова Кирилла Федоровича** «Долгоживущие состояния в системах ядерных спинов, близких к эквивалентности», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. ЯМР является уникальным методом в определении строения локального окружения ядра, что делает метод незаменимым в исследовании огромного количества объектов неорганической и органической природы. Однако низкая чувствительность метода (низкое отношение сигнал-шум) существенно ограничивает диапазон применения ЯМР, поэтому в настоящее время множество групп во всем мире активно занимается развитием методик гиперполяризации ядерных спинов. Действительно, гиперполяризация позволяет многократно (в тысячи раз) усиливать сигналы ЯМР, преодолевая проблему низкой чувствительности, что открывает возможности для новых приложений в химии, биологии и медицине. Однако, как правило, спиновая гиперполяризация релаксирует до уровня равновесной поляризации в течение нескольких секунд. Данная работа посвящена изучению процессов спиновой релаксации, развитию методов создания долгоживущих спиновых состояний, а также разработке подходов для сохранения гиперполяризации в долгоживущих состояниях.

Результаты работы вызывают восхищение. Автор показал, что время жизни долгоживущего спинового состояния (на ядрах ^{15}N) в *транс*-азобензоле- $^{15}\text{N}_2$ в сильном поле (16.4 Тл) составляет больше 20 минут, превышая время продольной релаксации ядер ^{15}N в рекордные 250 раз! Более того, Кирилл систематически изучил различные методики конверсии синглетного спинового порядка (SLIC, aSLIC, M2S-S2M, APSOC) в системе $AA'X_2(X')_2$ и показал, что интенсивность долгоживущего сигнала, созданного по каналу A и детектированному по каналу A методами M2S и SLIC, не может превосходить 16% от величины термического сигнала спинов A и A' , тогда как эта величина для адиабатических методов aSLIC и APSOC, составляет 26%.

Очень впечатляют результаты, полученные с использованием методики SABRE (Signal Amplification By Reversible Exchange) – усиление сигнала ЯМР посредством обратимого взаимодействия параводорода с субстратом – где автор продемонстрировал усиление сигнала *цис*-азобензола- $^{15}\text{N}_2$ в несколько тысяч раз. Учитывая тот факт, что конверсию между *цис*- и *транс*-изомерами азобензола можно контролировать светом, очевидный следующий шаг работы состоит в комбинации гиперполяризации *цис*-азобензола- $^{15}\text{N}_2$ методом SABRE с фотопереключением в долгоживущее *транс*-состояние и последующей детекцией сигнала через несколько десятков минут после создания гиперполяризованного состояния.

Наконец, автором впервые было продемонстрировано, что в молекулах, содержащих спины близкие к эквивалентности, можно генерировать спиновые когерентности, после чего переносить образец в нулевое поле, сохраняя когерентные осцилляции. В частности, в производной нафталина были обнаружены когерентности с временами жизни около 3 минут, что в несколько раз превосходит соответствующее время продольной спиновой релаксации T_1 данных спинов. Данный факт открывает новые возможности для использования сверхчувствительных магнетометров для детекции сигналов ЯМР непосредственно в низких (в т. ч. нулевых) магнитных полях.

Замечаний по автореферату нет. Работа выполнена и оформлена на очень высоком уровне. Публикации, а это 7 статей в очень престижных журналах (*J. Magn. Reson.*, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, *J. Chem. Phys.*, *Magn. Reson. Chem.*) и 6 выступлений на конференциях, свидетельствуют о высокой научной квалификации автора. Автореферат очень хорошо оформлен: кратко, лаконично, с необходимыми деталями, конечно, в соответствии с требованиями ВАК.

Знакомство с авторефератом соискателя позволяет сделать вывод, что по объему, новизне и уровню проведенных исследований, диссертационная работа Шеберстова К. Ф. соответствует квалификационным требованиям ВАК, в частности п.9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", а её автор безусловно заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Кандидат химических наук
(02.00.04 – Физическая химия)
Научный сотрудник (Postdoctoral Associate),
Лаборатория Александра Пайнса, Калифорнийский Университет Беркли,
Национальная лаборатория им. Лоуренса в Беркли
QB3 Химический Факультет
208С Стэнли Холл № 3220
Беркли, Калифорния, 94720-3220

Данила Андреевич Барский



Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и дальнейшую обработку