

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.03 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 2 марта 2020 г. № 75

О присуждении Протопопову Алексею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Физическая параметризация релаксационных кривых ЯМР в гетерогенных средах» по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 18 октября 2019 года, протокол № 72 диссертационного совета Д002.023.03, созданного 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53 .

Соискатель Протопопов Алексей Владимирович, 1992 года рождения, в 2015 году с отличием окончил Факультет биологической и медицинской физики Московского физико-технического института (МФТИ), защитив магистерскую дипломную работу. С 1 сентября 2015 года по 16 июля 2019 года обучался в аспирантуре МФТИ по специальности 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики». В 2019 году зачислен в ФИАН в качестве экстерна для сдачи кандидатских экзаменов по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2019 году ФИАН. С марта 2019 года по настоящее время А.В.

Протопопов работает в Криогенном отделе Отделения физики твердого тела ФИАН, с 27 мая 2019 года был зачислен по конкурсу на должность младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа А.В. Протопопова выполнена в Отделении физики твердого тела ФИАН.

Научный руководитель: Пирогов Юрий Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор Кафедры фотоники и физики микроволн Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

1. Скирда Владимир Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики молекулярных систем Института физики Казанского федерального университета;
2. Тарасов Виктор Петрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем химической физики Российской академии наук (РАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ РАН), город Москва, в своем положительном заключении, подписанном доктором биологических наук Семеновой Натальей Александровной, главным научным сотрудником Лаборатории 0501 ИБХФ РАН, и доктором химических наук, членом корреспондентом РАН, профессором Варфоломеевым Сергеем Дмитриевичем, заведующим Лабораторией 0501 ИБХФ РАН, научным руководителем ИБХФ РАН, и утвержденном доктором химических наук, профессором Курочкиным Ильей Николаевичем, директором ИБХФ РАН, указала, что соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 10 работ, включая 3 работы, опубликованные в рецензируемых

научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, и 2 работы в журнале, входящем в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций. Результаты работы доложены на 3 международных конференциях.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Protopopov A. Relaxation model and mapping of magnetic field gradients in MRI//Applied Magnetic Resonance, 2017, v.48, no. 3, p.255-274.
2. Protopopov A. Structural analysis of relaxation curves in MRI//Applied Magnetic Resonance, 2017, v.48, no. 8, p.783-794.
3. Protopopov A. Physical parameterization in MRI/Lecture Notes in Electrical Engineering, Applied Physics, System Science and Computers II, Eds. K. Ntalianis and A. Croitoru, Springer, 2019, pp.18-24.

На автореферат диссертации поступил отзыв от заведующего Лабораторией инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, Федерального бюджетного учреждения науки Центрального НИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, члена-корреспондента РАН, доктора медицинских наук Тутельяна Алексея Викторовича. В отзыве отмечается, что актуальность работы не вызывает сомнений, так как методы, представленные в ней, позволяют увеличить количество информации, получаемой с использованием магнитно-резонансных томографов, и одновременно сделать её более удобной для восприятия, что оказывает положительный эффект на скорость и точность постановки диагноза. В отзыве Тутельяна А.В. указано, что соискатель А.В. Протопопов заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием у них признанных достижений в области магнитно-резонансной томографии.

Диссертационный совет отмечает, что в диссертации проведены

экспериментальные и теоретические исследования кривых ЯМР релаксации в образцах конденсированных сред на основе живых систем с целью нахождения пространственного распределения существенных физических параметров. Для объяснения полученных закономерностей создана и подтверждена в эксперименте новая физико-математическая модель воздействия физических неоднородностей изучаемого объекта на форму кривой релаксации сигнала ядерной магнитной индукции. Эта модель учитывает наличие внутри вокселя (трехмерного пикселя) трехмерного градиента магнитного поля и неоднородностей спин-спинового взаимодействия ядер. На этой основе разработаны алгоритмические методы для раздельного наблюдения эффектов, связанных с этими физическими параметрами среды.

В работе получены следующие результаты:

1. Разработана трехмерная физико-математическая модель для описания затухания сигнала магнитной индукции под влиянием регулярных и случайных неоднородностей биологических сред. Данная модель учитывает наличие внутри вокселя как градиента магнитного поля, направленного произвольным образом, так и градиентов спин-спинового взаимодействия прецессирующих ядер. Разработанная модель позволяет измерять набор физических параметров исследуемого объекта, который включает в себя протонную плотность, время спин-спиновой релаксации и степени неоднородности магнитного поля и времени релаксации. Отклонение значений этих параметров от реальных составляет не более 3%.
2. Установлено, что так называемая «многоэкспоненциальность функции релаксации» описывается положительным значением квадратичного члена полинома в аргументе экспоненты, описывающей сигнал магнитной индукции, и вызвана пространственными неоднородностями спин-спиновой релаксации ядер в вокселе.
3. Обнаружено, что в биологических объектах участки с высокой степенью разброса времен спин-спиновой релаксации могут группироваться в

регулярные области, компактно расположенные в пределах глаз человека.

4. Разработаны математические методы и построенные на их основе алгоритмы для разложения традиционных томограмм на карты физических параметров. Данные инструменты были реализованы в программной среде MATLAB и проверены на экспериментальных данных, полученных как с использованием специально сконструированных фантомов, так и на добровольцах. В отличие от методов, представленных в работах других авторов, разработанные в диссертации методы обеспечивают высокую скорость вычислений, что позволяет обрабатывать набор исходных изображений размером 256 на 256 пикселей за время порядка 1 секунды на компьютерах, используемых совместно с большинством коммерческих магнитно-резонансных томографов.

Результаты работы А.В. Протопопова оригинальны и научно обоснованы. Их достоверность подтверждается использованием современного оборудования, адекватным выбором различных экспериментальных методик, примененных как к фантомам, так и к добровольцам, и качественным согласием результатов, полученных на фантомах, с реальными значениями параметров, заложенных в фантомах при их изготовлении.

Все результаты получены лично автором либо при его непосредственном участии.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что впервые была разработана аналитическая трёхмерная модель сигнала магнитной индукции, учитывающая влияние градиентов магнитного поля и спин-спинового взаимодействия ядер. Впервые продемонстрированы вычислительные методы, основанные на данной модели и предназначенные для вычисления карт физических параметров исследуемого объекта, используя в качестве исходных данных традиционные томограммы. Обнаружена регулярная группировка областей с доминированием градиента спин-спиновой релаксации в глазах человека.

Практическая значимость работы связана с возможностью применения полученных результатов для создания новых методов диагностики конденсированных сред на основе биологических объектов с использованием магнитно-резонансной томографии.

В диссертационной работе решена задача описания формы кривой затухания сигнала магнитной индукции в пространственно неоднородных средах с помощью набора физически значимых параметров.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

На заседании 2 марта 2020 года диссертационный совет принял решение присудить А.В. Протопопову учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 21 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.07 – Физика конденсированного состояния), участвовавшие в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 17,
против присуждения учёной степени -4,
недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,
член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н

Пудалов Владимир Моисеевич

Учёный секретарь диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

Золотко Александр Степанович

02 марта 2020 г.