



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий,
механики и оптики» (Университет ИТМО)

Кронверкский проспект, д. 49, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация, 197101
тел.: (812) 232-97-04 | факс: (812) 232-23-07
od@mail.ifmo.ru | www.ifmo.ru

15.03.2018 № 88-01-18/132

УТВЕРЖДАЮ

Ректор федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-
Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий,
механики и оптики»
Университет ИТМО)
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф.



Васильев В.Н.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу ДАВЫДОВА ВАДИМА ВЛАДИМИРОВИЧА
«МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ВЕКТОРА ЯДЕРНОЙ
НАМАГНИЧЕННОСТИ В ТЕКУЩЕЙ ЖИДКОСТИ
В СПЕКТРОМЕТРАХ И МАГНИТОМЕТРАХ»,

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Актуальность темы выполненной работы

Исследования механизмов ядерной магнитной релаксации в потоке жидких сред является одной из актуальных задач фундаментальной физики, решение которой имеет различные практические приложения, как для развития самой физики, так и для разработки новых методов и приборов измерения различных параметров жидких сред.

С другой стороны, актуальность темы диссертационной работы связана с тем, что ЯМР магнитометры на текущей жидкости занимают особое место среди квантовых магнитометров. Эти устройства с одной стороны совмещают простоту и относительную доступность реализации с высокими прецизионными характеристиками, а с другой – удовлетворяют сложным требованиям, предъявляемым к квантовым магнитометрам, которые ограничивают возможности их широкого применения. Поэтому с их помощью можно проводить исследования сильных и слабых неоднородных магнитных полей в условиях, в которых другие типы магнитометров неприменимы.



В условиях ухудшающейся экологической обстановки, разработка быстрых и надежных методов экспресс-контроля состояния среды крайне востребована. Метод ЯМР в отличие от других методов не вносит необратимых изменений в химический состав и физическую структуру пробы исследуемой среды и позволяет получать подтверждения выявленных отклонений в результате экспресс-контроля в стационарной лаборатории в той же пробе среды, что является актуальным решением важной практической задачи.

Повышение надежности и улучшения различных характеристик приборов контроля расхода жидких сред всегда являлось актуальной задачей, особенно в условиях повышения цен на энергоносители, воду и т.д. В диссертационной работе результаты исследований позволяют решить некоторые задачи, возникающие при измерении расхода жидкости ЯМР спектрометрами, что делает данные приборы более востребованными на рынке современной измерительной аппаратуры соответствующего профиля.

Основные результаты, полученные автором и их новизна

Полученные автором результаты весьма убедительно подтверждают формулу специальности 01.04.01, как интегрированной научной дисциплины, с одной стороны, базирующейся на физических явлениях, а с другой, подразумевающей совершенствование методов и приборов контроля, предназначенных как для проведения исследований в различных областях физики, химии и биологии, так и для автоматизации технологических процессов в промышленности и энергетике.

Основные научные результаты соискателя сводятся к следующему:

- впервые установлено соотношение между напряженностями магнитных полей $10 \cdot H_1 \leq H_0$ в катушке нутации, позволяющее получать максимальное значение отношения сигнал/шум регистрируемого сигнала ЯМР, при управлении в ней движением вектора намагниченности;
- впервые установлена зависимость формы линии нутации от амплитуды и частоты магнитного поля модуляции. Данная зависимость позволила осуществить регистрацию сигнала ЯМР с инверсией намагниченности на уровне шумов. Это позволяет исключить влияние погрешностей, связанных с изменением амплитуды и фазы сигнала ЯМР при быстрых изменениях расхода жидкости q на результат его измерения;

- предложена теоретическая модель для определения зоны воздействия поля H_1 на вектор ядерной намагниченности текущей жидкости в катушке нутации размещенной в сильном неоднородном магнитном поле H_0 . Учет данной зоны в конструкции катушки нутации ЯМР магнитометра позволяет реализовать предельную разрешающую способность и точность измерения параметров поля;
- раздел теории ядерной релаксации жидких сред, в котором значение T_1 определяется в соответствии с моделью Дебая через вязкость η дополнен новыми математическими соотношениями, подтверждающими влияние электрического поля на турбулентную вязкость;
- получена новая формула для описания зависимости изменения амплитуды регистрируемого сигнала ЯМР в слабом магнитном поле с использованием модуляционной методики в условиях быстрого прохождения через резонанс;
- в уравнениях Блоха установлены новые коэффициенты, позволяющие получать значения компонент вектора намагниченности, описывающих форму линии регистрируемого сигнала ЯМР в слабом поле с использованием модуляционной методики;
- выявлено условие для получения максимального коэффициента инверсии вектора намагниченности в текущей жидкости, которое позволило: повысить точность измерения физических величин в ЯМР расходомерах и магнетометрах; увеличить в ЯМР расходомерах диапазон измерения расхода жидкости (с погрешностью менее 1 %) в зависимости от конструкции прибора на 20 % и более;
- в результате моделирования физических экспериментов получены данные о значениях полей H_1 и H_m , которые позволяют разработать оптимальные параметры катушек нутации и модуляции для проведения измерений различных физических величин с помощью ЯМР расходомеров и магнитометров с погрешностью не более 1 %;
- разработан новый метод измерения расхода жидкости q , позволяющий обеспечить измерение q при быстрых изменениях расхода с погрешностью не более 1.0 % во всем диапазоне работы ЯМР расходомера;
- разработана новая методика определения чувствительности ЯМР магнитометра на текущей жидкости. Учет её особенностей в конструкции ЯМР магнитометра на текущей жидкости при измерениях параметров магнитных полей позволяет реализовать предельную разрешающую способность и высокую точность измерения;

- экспериментально реализованный новый способ уменьшения времени продольной релаксации T_1 в текущей жидкости открывает возможности по созданию новых оптических материалов;
- впервые разработан и реализован метод измерения времени продольной релаксации T_1 конденсированной среды в слабом магнитном поле, который позволил проводить экспресс-контроль состояния конденсированных сред в месте взятия пробы для решения различных задач;
- реализован новый метод обработки сигнала ЯМР, позволяющий при экспресс-контроле жидких сред в определенных случаях определять их состав и относительные концентрации компонент, из которых состоит среда. Это дает возможность принять обоснованное решение о дальнейшем использовании среды на месте взятия пробы, а не отправлять её на дополнительные исследования в лабораторию.

Практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Применение полученных в диссертационной работе результатов позволяет совершенствовать конструкции ЯМР измерителей (расходомеров, спектрометров и магнитометров) с целью улучшения их метрологических характеристик и расширения функциональных возможностей приборов. Впервые предложена и реализована возможность расчета оптимальных параметров катушки нутации ЯМР магнитометра на текущей жидкости для проведения им измерений в сильных неоднородных полях, что значительно расширяет возможности по его применению, как для экспериментальных исследований, так и для различных практических приложений.

Разработки новых методов определения времени продольной релаксации T_1 жидких сред, находящихся как в стационарном, так и в текущем состоянии позволила реализовать быстрый и надежный экспресс – контроль состояния жидкой среды в реальном времени при течении её по трубопроводу или в месте взятия пробы.

Предложенная методика определения чувствительности ЯМР магнитометра на текущей жидкости позволяет при разработке его конструкции, учесть особенности его эксплуатации и условия измерения параметров магнитного поля, что обеспечивает необходимую точность измерений и достоверность полученных результатов при различных исследованиях.



Структура диссертационной работы, публикации и апробация

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, выводов по каждой главе, перечня обозначений, списка литературы и семи приложений. Материал изложен на 339 страницах машинописного текста, содержит 96 рисунков и 13 таблиц. Список литературы содержит 324 наименования.

Материалы диссертации был представлен автором более чем на 50-ти российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 82 статьи, входящих в перечень ВАК, 65 из которых представленных в международных (Scopus и Web of Science) наукометрических базах, а также два авторских свидетельства.

По диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. Первая глава диссертации «Краткий обзор методов исследования жидких сред и разработанных на их основе приборов» явно перегружена лишней информацией о всех существующих типах приборов для измерения расхода. Измерения на основе метода ЯМР являются бесконтактными, в этом его одно из преимуществ перед другими методами. Более рационально было бы остановиться в главе на рассмотрении только бесконтактных методов и разработанных на их основе расходомерах. Все остальные измерители расхода рассмотреть в одном параграфе, так как данные методы измерения расхода по сравнению с ЯМР принципиально отличаются.

2. Во второй главе диссертации «Краткий обзор методов квантовой магнитометрии» явно не хватает параграфа, в котором были бы рассмотрены более обстоятельно другие методы измерения магнитных полей (кроме квантовых) и используемые на их основе магнитометры. Краткой информации, представленной об этом перед началом главы недостаточно, тем более что автор диссертации, полученные экспериментальные данные методом ЯМР о параметрах магнитного поля сравнивает с результатами измерений, полученными магнитометрами на основе датчиков Холла или феррозондовыми.

3. В главе 6 подробно описан новый метод определения состава и концентрации компонент в смеси жидких сред при экспресс-контроле. Приведены результаты расчетов и экспериментальных измерений. Однако из графиков на рис. 6.11 не ясно насколько будет хорошее совпадение расчетных и измеряемых линий сигнала ЯМР при

небольшой вариации соотношения между компонентами в смеси двух бензинов. В представленных графиках при значительных различиях между компонентами в смеси двух бензинов совпадение, необходимое для определения состава смеси и относительных концентраций, присутствует.

Указанные замечания в значительной степени связаны с формой изложения материала и не меняют общей положительной оценки диссертационной работы, которая выполнена на высоком уровне, содержит большой объем экспериментальных и теоретических данных, отличается научной новизной и имеет важное практическое значение.

Рекомендации по использованию результатов и сделанных выводов настоящей работы

Результаты, полученные автором, дополняют различные разделы:

1. Теории нутационной кинетики новыми соотношениями и уравнениями;
2. Метрологии, в котором представлены методики и соответствующие им соотношения для расчета чувствительности квантовых магнитометров, новой методикой;
3. Теории ядерной релаксаций жидких сред.

Предложенные автором новые методы измерения могут быть использованы для проведения экспериментальных исследований структуры потока жидких сред и магнитных полей, а также для модернизации находящихся в эксплуатации или разработке новых моделей ЯМР расходомеров-релаксометров и магнитометров на текущей жидкости, а также малогабаритных ЯМР спектрометров.

Конкретными потребителями результатов могут быть ОАО «Концерн Росэнергоатом» (г. Москва), ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (г. Санкт-Петербург), ФГБНУ «ВНИИФ» (Московская обл.), АО «Научно-производственное объединение «Прибор» (г. Санкт-Петербург), АО «Концер «Гранит-Электрон» (г. Санкт-Петербург), ФГБНУ «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова» (г. Москва), ПАО «Татнефть» им. Д.В. Шашина (г. Альметьевск), АО «ГОЗ Обуховский завод» (г. Санкт-Петербург).

Предложенные в работе теоретические подходы могут быть использованы в учебных курсах при подготовке бакалавров по направлению 16.03.01 «Техническая физика», магистров и аспирантов по направлению 16.04.01 «Радиофизика», а также магистров и аспирантов по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия».



Сформулированная соискателем цель диссертационного исследования, предложенные методы и подходы по её реализации, разработанные и апробированные на практике новые методы измерения физических величин, проведенные с их использованием экспериментальные исследования, предложенные теоретические модели и выполненные на их основе расчеты, а также сделанные по результатам исследований выводы и сформулированные рекомендации по дальнейшему совершенствованию предложенных методик и конструкций измерительной аппаратуры полностью соответствуют заявленной специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики. Журналы из перечня ВАК в которых опубликованы результаты научных исследований Давыдова Вадима Владимировича соответствуют специальности 01.04.01 (пункты 1-5, 7, 8 из паспорта специальности), по которой представлена диссертация к защите.

Заключение

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для развития физики, а также обладают значительным потенциалом для практического применения.

Выводы и рекомендации обоснованы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Публикации соискателя полностью соответствуют тематике диссертационного исследования и позволяют судить о значимости его личного вклада в полученные и представленные результаты.

Диссертационная работа Давыдова В.В. «Методы управления движением вектора ядерной намагниченности в текущей жидкости в спектрометрах и магнитометрах» полностью удовлетворяет требованиям и критериям п. 9 О порядке присуждения ученых степеней (Утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (редакция от 28.08.2017)), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Давыдов Вадим Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.



Доклад соискателя по материалам диссертации и отзыв обсуждены на научном семинаре кафедры лазерных технологий и систем (Протокол № 9 от «01» марта 2018 г.).

Руководитель семинара

профессор кафедры
лазерных технологий и систем,
доктор физико-математических наук
197101, г. Санкт-Петербург,
Кронверкский проспект, д.49.
Тел: +7 (812) 232-48-05,
e-mail: alexander_ap@list.ru

Александр Павлович Алоджанц

Заведующий кафедрой
лазерных технологий и систем,
кандидат физико-математических наук
197101, г. Санкт-Петербург,
Кронверкский проспект, д.49.
Тел: +7 (812) 232-48-05,
e-mail: evviktor@gmail.ru

Евгений Анатольевич Викторов

