

ОТЗЫВ

научного руководителя о научной деятельности соискателя ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 «Физическая электроника»

Дмитриева Александра Константиновича

Дмитриев Александр Константинович начал свою научную деятельность в ФТИ им. А.Ф. Иоффе в 2010 году в качестве лаборанта в научно-образовательном центре. В 2012 году А.К. Дмитриев, в то время – студент бакалавриата Санкт-Петербургского Государственного Политехнического университета, под моим руководством приступил к работе в лаборатории Атомной радиоспектроскопии. С этого момента мы совместно начали исследования оптических и радиооптических свойств азотно-вакансионных (NV) центров в алмазе; на базе этих исследований были выполнены бакалаврская и магистерская работы А.К. Дмитриева. После окончания в 2015 году с отличием Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого по направлению подготовки 03.04.02 – «Физика», А.К. Дмитриев поступил в аспирантуру ФТИ им. А.Ф. Иоффе по специальности 01.04.04 – «Физическая электроника». В период с 2015-го по 2019-й год Дмитриев А.К. освоил обязательную программу обучения в аспирантуре, успешно сдал кандидатские экзамены по философии, иностранному языку и специальности, защитил выпускную квалификационную работу. В итоге им был получен диплом с отличием об окончании аспирантуры по направлению подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», и ему была присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Материал диссертационной работы А.К. Дмитриев нарабатывал в период с 2015-го по 2020-й годы. Основной целью работы было исследование существующих методов непрерывного возбуждения ОДМР в центрах окраски (азотно-вакансионный или NV центр) в алмазе и разработка новых, обеспечивающих максимальную чувствительность магнитометрического датчика на его основе, а также рассмотрение возможности создания на базе NV центра стабильных эталонов частоты и времени.

Проведенный нами на первом этапе работы анализ литературы выявил интересные закономерности: мы обнаружили, что, несмотря на множество работ, посвященных исследованию и применению оптических магнитно-резонансных свойств NV центра, на тот момент остались почти не исследованы резонансные процессы, происходящие при возбуждении магнитного резонанса в NV центре в слабых и нулевых магнитных полях в условиях множественного пересечения энергетических уровней и перекрытия спектральных контуров линий оптически детектируемого магнитного резонанса (ОДМР). При этом именно область слабых (порядка земного) и нулевых магнитных полей представляет основной практический интерес при применении NV центров в кристалле алмаза в качестве магнитометрического датчика – поскольку естественным объектом магнитометрии сверхвысокого пространственного разрешения, реализуемого на таких датчиках, являются биологические объекты. Соответственно, не были разработаны в достаточной мере чувствительные магнитометрического датчика слабого поля на основе NV центров. Вторая обнаруженная нами проблема была обусловлена необходимостью

измерения изменяющихся в диапазоне от единиц до сотен герц магнитных полей, характерных для биологических объектов: большинство исследований на тот момент были нацелены на применение импульсных методов возбуждения ОДМР, основанных на многочисленных вариантах метода спинового эха. Однако эти методы, хотя и позволяют существенно увеличить чувствительность датчика в узкой (и, как правило, лежащей вне интересующего нас диапазона) полосе частот, но при этом неизбежно приводят к потере чувствительности вне ее. Поэтому при разработке физических принципов датчиков, предназначенных для медицинских и биологических применений, применение импульсных методов оказалось в подавляющем большинстве случаев непродуктивным.

Основной целью работы Дмитриева А.К. являлась разработка физических принципов магнитометрического датчика слабого поля, чувствительного к медленно меняющимся магнитным полям. Таким образом, работа нацелена на заполнение указанных выше пробелов в исследовании всесторонне, казалось бы, изученного NV центра, и потому она особенно актуальна и представляет несомненный практический и теоретический интерес.

В процессе работы Дмитриев А.К. изучил большой объем русско- и англоязычной литературы по предмету исследования и смежным областям. Он (при моем минимальном участии) собрал экспериментальную установку для наблюдения ОДМР в алмазе, самостоятельно собрал и отладил электронные схемы преобразования частот и синхронного детектирования, разработал компактную бескаркасную трехмерную систему колец Гельмгольца с компьютерным управлением, обеспечившую возможность задавать магнитное поле в области образца в любом направлении. Дмитриев А.К. всегда самостоятельно проводил эксперимент, обработку полученных данных и работы по обслуживанию и усовершенствованию экспериментальной установки, и продуктивно участвовал в обсуждениях, касающихся интерпретации полученных результатов.

Считаю необходимым выделить следующие основные результаты, полученные А.К. Дмитриевым:

1. Предложена и исследована схема субмиллиметрового векторного магнитометрического датчика, характеризующегося чувствительностью к компонентам вектора магнитного поля в полосе частот 0 – 100 Гц на уровне $1.5 \text{ нТл/Гц}^{1/2}$ при объеме чувствительного элемента всего 0.01 мм^3 .
2. Обнаружены и исследованы сверх-узкие оптические резонансы, соответствующие изменению проекции спина ядра ^{14}N при одночастотном ВЧ возбуждении.
3. Обнаружен, исследован и интерпретирован ряд возникающих при ВЧ и СВЧ возбуждении оптически детектируемых многочастотных резонансов в сверхтонкой структуре NV центра в слабых и нулевых магнитных полях.
4. Предложено использование наблюдаемых высококонтрастных магнито-независимых двухчастотных резонансов в спектрах ОДМР в схемах стабилизации частоты, требующих компактности и устойчивости к напряжениям.
5. Обнаружен и исследован эффект магнито-зависимого поглощения радиочастотного высокочастотного излучения, регистрируемого методом ОДМР, на основе которого может

быть создан скалярный магнитометрический датчик слабого (< 0.1 мТл) поля, характеризующийся чувствительностью 3.6 нТл/Гц^{1/2} при мощности накачки ~ 15 мВт и объеме чувствительного элемента 0.01 мм³.

Высокий уровень выполненной работы подтверждается ее апробацией на российских и международных конференциях, а также публикацией семи статей в ведущих российских и международных журналах.

Дмитриев Александр Константинович за время работы в ФТИ им. А.Ф. Иоффе прошел путь от студента до высококвалифицированного научного сотрудника, способного самостоятельно реализовать все стадии экспериментального научного исследования от постановки задачи до анализа результата эксперимента. Считаю, что он безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Научный руководитель _____

Вершовский Антон Константинович
д.ф.-м.н., в.н.с. лаборатории
Атомной радиоспектроскопии
ФТИ им. А.Ф. Иоффе