

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Абалмасова Вениамина Александровича

«Теоретическое исследование поведения спинов электрона и ядер в
квантовой точке», представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.07 – физика конденсированного состояния

Имея в виду, что возможности дальнейшей миниатюризации существующих микроэлектронных устройств весьма ограничены, необходимо думать о переходе к радикально новым технологиям в области информационных устройств. Хорошей альтернативой в этой связи заряду электрона является электронный спин, использование которого для хранения и передачи информации может не только улучшить функциональность существующих устройств, но и полностью революционизировать электронику, приводя к появлению устройств целиком оперирующих спиновой степенью свободы. Эта амбициозная цель и составляет основное содержание новой электроники-спинтроники.

Более того, относительно недавно было показано, что производительность вычислительных систем может быть существенным образом увеличена за счёт использования квантового параллелизма, свойственного процессам микромира, в связи с чем стала активно изучаться возможность практического создания квантового компьютера. Естественным кандидатом на роль квантового бита (кубита) информации является спин локализованного электрона. Квантовые вычисления с одной стороны налагают ряд существенных ограничений на интенсивность взаимодействия кубита с окружающей средой (процесс декогеренции), с другой стороны требует создания техники манипулирования состоянием кубитов.

Таким образом, квантовый компьютер может оказаться одним из достижений спинтроники, но независимо от того о каком конкретном

устройстве идет речь, очень важным аспектом является учет и управление процессами релаксации. В свете вышесказанного актуальность диссертационной работы несомненна.

Диссертационная работа В.А. Абалмасова посвящена в большей своей части исследованию механизмов релаксации электронного спина в квантовой точке, а также затрагивает важную проблему поляризации ядерных спинов при взаимодействии со спином локализованного электрона. Поляризованные спины ядер в меньшей степени влияют на декогеренцию состояния электронного спина, что существенно для использования последнего в качестве кубита, а также могут использоваться в качестве источника сильного локального магнитного поля, что может иметь также значение для различных практических приложений спинтроники.

Диссертация написана на 95 страницах, содержит 1 таблицу и 18 рисунков, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 95 источников. Во введении в достаточной степени представлены общие сведения по теме диссертации и показана её актуальность, ясно обозначены цели и задачи работы, обоснована научная новизна и значимость полученных результатов.

В главе 1 достаточно полно представлен обзор литературы по теме исследования последовательно по каждой задаче, рассмотренной в диссертационной работе.

В главе 2 рассмотрен механизм релаксации спина электрона в квантовой точке во внешнем магнитном поле, связанный с учётом колебаний ядер в кристаллической решётке. В данном контексте подобный механизм релаксации рассмотрен впервые. Показано, что в слабых магнитных полях (при длинах волн фонона больших размера квантовой точки) возникает взаимное вычитание вкладов в релаксацию за счёт синхронных колебаний кристаллической решётки и потенциала квантовой точки, что приводит к более сильной степенной зависимости скорости релаксации от магнитного поля. Если потенциал квантовой точке фиксирован или колеблется

независимо от кристаллической решётки в квантовой точке, данное вычитание отсутствует и скорость релаксации линейно зависит от магнитного поля (при нулевой температуре), что может сделать данный механизм релаксации доминирующим в малых магнитных полях.

Рассмотренный механизм не зависит от энергии возбуждения электрона в квантовой точке (а, следовательно, её размера) в отличие от ведущего в больших квантовых точках механизма релаксации через подмешивание спиновых состояний.

В главе 3 впервые в литературе рассмотрен механизм релаксации электронного спина в квантовой точке во внешнем магнитном поле при обмене энергии с флуктуациями электронной плотности в металлическом затворе квантовой точки. Отличительной особенностью данного механизма является зависимость скорости релаксации от сопротивления электрической цепи затвора, что может позволить регулировать интенсивность данного механизма релаксации и выделить его в эксперименте.

В главе 4 сделана подгонка степенной функцией имеющихся на сегодняшний день данных около десятка экспериментов по зависимости скорости релаксации спина электрона в квантовой точке от магнитного поля, энергии возбуждения электрона в квантовой точке и температуры. Сделан вывод, что полученная степенная зависимость скорости релаксации электронного спина в квантовой точке из арсенида галлия от магнитного поля в большей степени соответствует механизму релаксации через пьезоэлектрические фононы.

Глава 5 посвящена исследованию возможности самополяризации ядерных спинов (до сих пор не наблюдавшемуся эффекту, предсказанному теоретически четыре десятилетия назад) при протекании электрического тока через квантовую точку. Выявлен механизм деполяризации ядерных спинов. Предложена оригинальная схема эксперимента, при которой скорость поляризации ядерных спинов может в принципе превысить скорость их деполяризации.

В целом, изложение диссертационной работы является последовательным и хорошо структурированным. Работа выполнена на высоком качественном уровне со знанием основ и тонкостей теоретического расчёта. В работе представлены совершенно новые результаты, которые несомненно будут полезны и востребованы при дальнейшем изучении вопросов, связанных с созданием квантового компьютера и использовании спинов электрона и ядер в различных приложениях. Доказательством этого является более трёх десятков ссылок на статьи, в которых опубликованы отдельные результаты диссертации.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1) В главе второй рассматривается механизм релаксации электронного спина в квантовой точке при сверхтонком взаимодействии электрона с ядрами кристаллической решетки. Показывается, что для корректного описания релаксации необходимо также учитывать взаимодействие электрона с тепловыми колебаниями потенциала квантовой точки. Более того, при определенных условиях этот механизм приводит к подавлению спиновой релаксации. При этом фононы рассматриваются как в однородной среде. Между тем квантовая точка двумерна и расположена на поверхности гетероструктуры. Естественно, фононные моды будут иметь иной вид, возникает вопрос: как это может изменить полученный результат? Более того, то что мы называем квантовой точкой это структурно достаточно сложный объект. Она возникает на поверхности гетероструктуры благодаря определенной конфигурации электродов к которым приложен потенциал. Как подобный объект может единым образом совершать колебания? Более естественным выглядит, что квантовая точка при колебаниях, например, изменяет свою форму, кроме того она обладает собственными резонансными колебательными модами, которые могут сильно взаимодействовать со спином электрона. Как это все повлияет на результат? В этой связи полученные во второй главе, несомненно, сильные результаты, тем не менее

скорее носят предварительный характер, и по моему мнению нуждается в дополнительном исследовании.

2) В главе четвертой проводится обзор экспериментальных данных по спиновой релаксации, имеющиеся в литературе к настоящему моменту. Скорость релаксации имеет разную зависимость от энергии возбуждения электрона и магнитного поля для разных механизмов релаксации. Подгонка под экспериментальные данные осуществляется степенными функциями. С моей точки зрения, приведенных в работе экспериментальных данных часто недостаточно, чтобы сделать вывод о характере функциональной зависимости от параметров (мало точек, они охватывают малый интервал).

Но дело даже не в этом. Я считаю, что задача о сравнении теории с экспериментом, которой посвящена эта глава, должна рассматриваться методически совершенно иначе. А именно, для конкретного материала рассчитать релаксацию с учетом всех известных механизмов, и лишь затем сравнивать с экспериментом. В этом случае даже имеющихся экспериментальных данных будет достаточно, чтобы сделать вывод о том, как теория соотносится с экспериментом.

Тем не менее, отмеченные замечания не могут повлиять на общую положительную оценку работы.

Достоверность полученных автором результатов подтверждается проверенным методом вычислений, сравнением с результатами других теоретических и экспериментальных работ.

Автореферат в полной степени отражает содержание диссертационной работы. Основные результаты диссертации опубликованы в 4 научных журналах, рекомендуемых ВАК, и представлены на крупных международных конференциях.

Нужно отметить также личный вклад автора в выборе направления исследования, постановке и решении задач, оформлении и публикации полученных результатов.

Считаю, что диссертационная работа «Теоретическое исследование поведения спинов электрона и ядер в квантовой точке» отвечает критериям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор, Абалмасов Вениамин Александрович, справедливо заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент

Булгаков Евгений Николаевич
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН)
Россия, 660036 г. Красноярск, Академгородок, 50, строение № 38
Тел.: +7(391) 243-26-35
E-mail: ben@tnp.krasn.ru

Подпись Булгакова Е.Н. заверяю

Учёный секретарь

ИФ СО Р



A blue handwritten signature, likely belonging to the scientific secretary, written over the redacted signature box.

Список научных публикаций Булгакова Евгения Николаевича:

1. Bulgakov E. N., Sadreev A. F. Bloch bound states in the radiation continuum in a periodic array of dielectric rods // Phys. Rev. A 90(5), 053801 (2014).
2. Bulgakov E. N., Kolovsky A. R. Induced tunneling and localization for a quantum particle in tilted two-dimensional lattices // Phys. Rev. B 89(3), 035116 (2014).
3. Bulgakov E. N., Sadreev A. F. Robust bound state in the continuum in a nonlinear microcavity embedded in a photonic crystal waveguide // Optics Letters 39(17), 5212-5215 (2014).
4. Bulgakov E. N., Pichugin K., Sadreev A. F. Channel dropping via bound states in the continuum in a system of two nonlinear cavities between two linear waveguides // Journal of Physics – Condensed Matter 25(39), 395304 (2013).
5. Bulgakov E. N., Sadreev A. F. All-optical manipulation of light in X- and T-shaped photonic crystal waveguides with a nonlinear dipole defect // Phys. Rev. B 86(7), 075125 (2012).
6. Bulgakov E. N., Sadreev A. F. Formation of bound states in the continuum for a quantum dot with variable width // Phys. Rev. B 83(23), 235321 (2011).
7. Bulgakov E. N., Sadreev A. F. Spin rotation for ballistic electron transmission induced by spin-orbit interaction // Phys. Rev. B 66, N 7, 075331-075340 (2002).
8. Bulgakov E. N., Sadreev A. F. Spin polarization in quantum dots by radiation field with circular polarization // Письма в ЖЭТФ.- 2001.- Т.73, №10.- С.573-577.
9. Bulgakov E. N., Sadreev A. F. Mixing of bound states with electron transport by a radiation field in waveguides // ЖЭТФ.- 1998.- Т.114, №6.- С.1954-1963.

Учёный секретарь ИФ СО РАН

