

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу Абалмасова Вениамина Александровича

*«Теоретическое исследование поведения спинов
электрона и ядер в квантовой точке»,*

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Квантовые точки (КТ) в настоящее время являются объектом интенсивных исследований с целью их использования в различных областях науки и техники - от различных сенсоров, источников излучения в разных спектральных диапазонах, устройствах спинтроники, а также кубитов в устройствах квантовой обработки информации. КТ точки имеют достаточно большие размеры в атомной шкале, могут содержать большое количество магнитных ядер, и несколько электронов. Если иметь в виду использование КТ в качестве кубитов, то одним из главных условий является достаточно медленная релаксация когерентных состояний в системе, чтобы успеть провести необходимые манипуляции с запутанными состояниями спинов частиц во время квантовых вычислений. Изучение динамики и релаксации электронных и ядерных спинов КТ является необходимым этапом исследования их как потенциальных кубитов, это также важно и для спинтроники. Поэтому актуальность исследований, представленных в диссертации, не вызывает сомнений.

Диссертация объемом 95 страниц состоит из введения и пяти глав, включающих обзор литературы; 2 главы с оригинальными расчетами релаксационных процессов в КТ; главу со сравнением существующих литературных экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов автора; главу со схемой возможного измерения динамической самополяризации ядер в КТ; заключения; списка сокращений, использованных в диссертации; списка литературы из 95 наименований; и списка публикаций автора по теме диссертации. Работа содержит 18 рисунков и одну таблицу. Каждая глава снабжена кратким заключением, что облегчает знакомство с работой.

Во введении правильно и четко обоснованы актуальность работы, выбор методов, модели объекта, постановка задачи и цели исследования. В литературном обзоре проанализированы теоретические методы описания релаксационных процессов электронных и ядерных спинов в квантовых точках, доступные экспериментальные данные по измерениям времен релаксации и определению механизмов парамагнитной

релаксации в таких системах, и механизмы поляризации ядерных спинов в твердых телах. Материалы этой главы свидетельствуют о глубоком знании соискателем литературы по рассматриваемым проблемам.

Во второй главе рассмотрены процессы электронно-ядерной релаксации спинов за счет модуляции сверхтонкого взаимодействия фононами решетки. Автором предложен новый подход – учет сдвига положения равновесия электрона в потенциале квантовой точки из-за поля фононов. Показано, что такой учет приводит к замедлению процессов релаксации в случае преобладания длинноволновых по сравнению с размером квантовой точки фононов в спектре тепловых колебаний при температуре, используемой в процессе измерений, и изменению характера зависимости скорости релаксации от напряженности внешнего магнитного поля.

В третьей главе работы изучено влияние флуктуаций электрического поля, возникающих во внешней подводящей цепи по механизму Найквиста, на кинетику релаксационных процессов в КТ. Механизм воздействия не является прямым. Флуктуирующее электрическое поле сдвигает положение равновесия электрона и тем самым влияет на зависящие от спиновых переменных слагаемые гамильтониана. Рассмотрено проявление сверхтонкого и спин-орбитального взаимодействия в спиновой динамике в КТ. Определены зависимости скоростей спин-решеточной релаксации для электронных и ядерных спинов от параметров системы, показан анизотропный характер релаксации.

В четвертой главе проделан анализ экспериментальных данных по спиновой релаксации в квантовых точках. Проведено сравнение с результатами расчетов автора, приведенных в 2-х предыдущих главах, и моделями, ранее представленными в литературе. Сделаны обоснованные заключения о механизмах релаксации в квантовых точках на основе арсенида галлия, арсенида галлия-индия, и кремния.

В пятой главе диссертации рассмотрена возможность измерения эффекта динамической самополяризации ядер в квантовой точке при протекании через нее электрического тока и в отсутствие внешнего магнитного поля, теоретически предсказанного Дьяконовым и Перелем [*Письма в ЖЭТФ*, 16 (1972) 563]. Автором проанализированы возможные в эксперименте скорости генерации поляризации ядер и скорость их спин-решеточной релаксации в тех же условиях. Предложена схема проведения эксперимента с динамической поляризацией ядер за счет релаксации электронного спина по СТВ-механизму и с подстройкой характеристик внешней цепи

для создания резонансно-усиленных флуктуаций электрического поля для ускорения этого процесса.

Наиболее важными новыми результатами, полученными в диссертационной работе Абалмасова В. А., являются следующие:

1. Проведено детальное теоретическое рассмотрение процесса парамагнитной релаксации электронного спина в квантовой точке за счет модуляции сверхтонкого взаимодействия тепловыми фононами и с учетом влияния флуктуаций электрического поля при наличии сверхтонкого и спин-орбитального взаимодействий. Показано, что а) изменение положения равновесия электрона в КТ из-за взаимодействия с фононами существенным образом уменьшает скорость спин-решеточной релаксации для длинноволновых фононов и должно обязательно учитываться при преобладании таких фононов в спектре колебаний в условиях эксперимента; б) найдены параметры электрической цепи, подводящей электроны к КТ, когда механизм спин-решеточной релаксации электронных спинов, индуцированный найквистовскими шумами в цепи, становится доминирующим, что дает возможность, например, быстрого приведения состояния спина электрона в равновесное состояние, что может быть важно в условиях низкой температуры образца и может использоваться в устройствах квантовой обработки информации на основе квантовых точек; в) релаксация спинов электронов в условиях флуктуаций электрического поля имеет анизотропный характер.
2. На основе сравнения теоретических расчетов автора и теоретических моделей из литературы с экспериментальными данными сделаны выводы о доминирующих механизмах релаксации в квантовых точках нескольких типов.
3. Предложено использовать оба изученных механизма релаксации для создания условий наблюдения процесса самополяризации ядер, возможность которого была предсказана ранее теоретически. Разработана схема соответствующего эксперимента.

Диссертация содержит тщательно выполненные и подробно обсужденные данные, не оставляющие сомнений в их достоверности и обоснованности указанных выше выводов. Защищаемые положения не противоречат известным достижениям фундаментальных и прикладных научных дисциплин.

По существу работы у меня имеются следующее замечание.

В рассматриваемых типах квантовых точек содержатся магнитные ядра с спинами $3/2$ и $9/2$. Такие ядра обладают квадрупольным моментом, что приведет к частичному снятию вырождения и расщеплению ядерных подуровней даже в нулевом магнитном поле, при наличии неоднородного электрического поля. Это обстоятельство в работе не упомянуто. По-видимому, градиенты локальных электрических полей не слишком велики в квантовых точках, но соответствующие оценки следовало бы привести. Отмечу, что в статьях, цитирующих работы автора диссертации, также не упоминается ядерное квадрупольное взаимодействие. Однако существуют немногочисленные работы, включающие квадрупольное взаимодействие в рассмотрение. Например, в статье [*Phys. Rev. Letters*, 99 (2007) 037401] теоретически показано, что квадрупольное взаимодействие подавляет спиновую диффузию ядер, и удлиняет время фазовой релаксации электронного спина.

Работа хорошо оформлена, данные представлены в строгой логической последовательности и хорошо проиллюстрированы.

К недостаткам оформления диссертации можно отнести

1. Рисунок 2.1. не содержит пояснения, чем отличаются 2 графика, хотя полностью информация приведена в автореферате.
2. Во 2-ой и 3-ей главах для одинаковых величин использованы разные обозначения, что создает неудобства при чтении.
3. В списке литературы в ссылке 61 пропущено название журнала или депозитария в интернете.

Указанные замечания, тем не менее, не снижают общую высокую оценку диссертации.

Автореферат и опубликованные статьи правильно и достаточно полно отражают содержание диссертации. Основные материалы диссертации опубликованы в виде 4-х статей в рецензируемых журналах, из них 2 в *Physical Review* хорошо цитируются (20 и 13 раз, соответственно) в положительном ключе. Результаты работы прошли апробацию на 2-х международных конференциях.

Считаю, что диссертационная работа «*Теоретическое исследование поведения спинов электрона и ядер в квантовой точке*» отвечает критериям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Абалмасов Вениамин Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

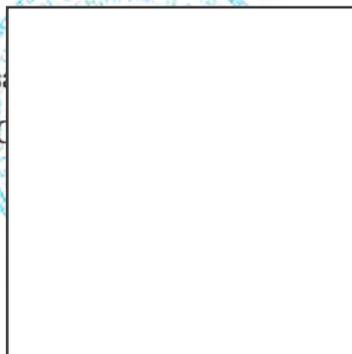
Официальный оппонент

Марьясов Александр Георгиевич
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт химической кинетики и горения им. В.В.Воеводского
Сибирского отделения Российской академии наук (ИХКГ СО РАН)
630090, Россия, г.Новосибирск, ул.Институтская, д.3
Тел. 8(383)3331377,
Электронная почта: maryasov@kinetics.nsc.ru
09.02.2015

Подпись Марьясова А.Г. з:
Ученый секретарь ИХКГ С
д.ф. -м.н.



Н.А.Какуткина

Список публикаций А.Г. Марьясова

1. Maryasov A.G., Cherevko A.G. The sensitivity range for the nucleation process to temperature fluctuations from thermal radiation exchange of liquid critical clusters in a metastable vapor phase // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 12: 13304-13308, 2010.
2. Третьяков Е. В., Толстикова С. Е., Романенко Г. В., Богомяков А. С., Стась Д. В., Марьясов А. Г., Грицан Н. П., Овчаренко В. И. Способ синтеза стабильного гетероатомного аналога триметиленметана // *Известия АН, серия хим., №12*, 2557-2560, 2011.
3. Maryasov A.G., Bowman M.K. Spin Dynamics of Paramagnetic Centers with Anisotropic g Tensor and Spin of $1/2$ // *J. Magn. Reson.* 221: 69-75, 2012.
4. Milov A.D., Tsvetkov Yu. D., Maryasov A.G., Gobbo M., Prinziavalli C., De Zotti M., Formaggio F., Toniolo C. Conformational properties of the spin-labeled tylopeptin B and heptaibin peptaibiotics based on PELDOR spectroscopy data // *Applied Magn. Reson.*, 44: 495-508, 2013.
5. Maryasov A.G., Bowman M.K. Bloch equations for anisotropic paramagnetic centers with spin of $1/2$ // *J. Magn. Reson.* 233: 80-86, 2013.
6. Tolstikov S., Tretyakov E., Fokin S., Suturina E., Romanenko G., Bogomyakov A., Stass D., Maryasov A., Fedin M., Gritsan N., Ovcharenko V. $C(sp^2)$ -Coupled Nitronyl Nitroxide and Iminonitroxide Diradicals // *Chem. Eur. J.*, 20: 2793-2803, 2014.
7. Bowman M.K., Maryasov A.G., Tsvetkov Yu.D. EPR Measurement of the Spatial Distribution of Radiation Damage // in *Applications of EPR in Radiation Research*. Lund A., Shiotani M., editors. Springer International Publishing, Cham-Heidelberg-NY-Dordrecht-London, Chapter 16, pp 581-627, 2014.

С.н.с. ИХКГ СО РАН,

Ученый секретарь
ИХКГ СО РАН, д.ф.м.

А.Г.Марьясов

Н.А.Какуткина