

Утверждаю
Руководитель Центра
физики наногетероструктур
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физико-технического института
им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук
член-корреспондент РАН



П.С. КОПЬЕВ
12 января 2015 г.

Отзыв ведущей организации

о диссертационной работе Абалмасова Вениамина Александровича
“Теоретическое исследование поведения спинов электрона и ядер в
квантовой точке”, представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 —
физика конденсированного состояния.

Актуальность исследований. Физика спиновых явлений в низкоразмерных структурах является одной из самых активно развивающихся областей современной физики конденсированных сред. Это обусловлено как интересом к фундаментальным проблемам релятивистской и квантовой физики в твердых телах, так и возможными перспективами применений спиновых эффектов в приборах будущего. В последние годы сформировалось новое направление – спинтроника, в рамках которого проводятся поисковые и прикладные, экспериментальные и теоретические исследования широкого круга явлений, связанных с динамикой спина в наноструктурах.

Диссертационная работа В.А. Абалмасова посвящена динамике спина одиночного электрона в квантовой точке. В таких структурах, сформированных эпитаксиальными методами или за счет приложения электрических полей к двумерному электронному газу, благодаря эффектам размерного квантования имеется дискретный энергетический спектр носителей заряда. Это существенно замедляет процессы спиновой дефазировки

и релаксации с одной стороны, а с другой – приводит к усилению сверхтонкого взаимодействия спинов электронов и ядер основной решетки. Описание процессов релаксации спина электрона, совместной спиновой динамики электронов и ядер, разработка модели динамической самополяризации ядер решетки находятся среди передовых направлений исследования. Такие задачи решаются в диссертационной работе, они представляют значительный интерес для научного сообщества, а актуальность темы диссертации В.А. Абалмасова не вызывает сомнений.

Новизна и научная значимость результатов. Диссертация В.А. Абалмасова состоит из введения, пяти глав и заключения. Во *введении* обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, обозначена научная новизна исследований и полученных результатов, а также приведены положения, выносимые на защиту. *Первая глава* диссертации содержит обзор литературы по задачам исследования. Дальнейшие главы диссертационной работы содержат ряд **новых и оригинальных** научных результатов.

Вторая глава диссертации Абалмасова посвящена исследованию процессов спиновой релаксации электрона, локализованного в квантовой точке, за счет совместного эффекта сверхтонкого взаимодействия и тепловых колебаний ядер решетки. Показано, что в малых магнитных полях имеется дополнительное подавление эффекта, связанное с необходимостью учета колебаний потенциала квантовой точки. Также в этой главе выполнены оценки скорости релаксации между синглетным и триплетным спиновыми состояниями пары электронов.

В *главе 3* диссертационной работы предложен оригинальный механизм спиновой релаксации локализованного электрона в структурах, содержащих проводящий резервуар. Показано, что шумы тока приводят к модуляции как сверхтонкого, так и спин-орбитального взаимодействий, что обеспечивает переворот спина локализованного носителя заряда. Детально проанализирована анизотропия спиновой релаксации и чувствительность скоростей переворота спина к ориентации внешнего магнитного поля.

В *четвертой главе* диссертации дан подробный обзор экспериментальных данных по спиновой релаксации одиночных носителей заряда в нульмерных системах. Автор предложил простую и физически аргументированную подгоночную формулу, с помощью которой описание данных эксперимента позволяет определить доминирующий механизм спиновой релаксации. Анализ, выполненный автором, позволяет сделать вывод

о том, что большинство экспериментальных данных можно описать в рамках известного в литературе “механизма подмешивания” (admixture mechanism), в котором необходимо учитывать спин-орбитальное смешивание основного и возбужденного состояний электрона в квантовой точке и электрон-фононное взаимодействие.

Пятая глава диссертационной работы Вениамина Абалмасова посвящена динамике спинов ядер и, в частности, эффекту динамической самополяризации ядер, который был предложен более сорока лет назад Дьяконовым и Перелем и до сих пор не был обнаружен экспериментально. Автор предложил оригинальную схему, в которой динамическая самополяризация ядер осуществляется за счет протекания туннельного тока через одиночную квантовую точку. Показано, что эффективность поляризации ядер может быть увеличена за счет резонансной передачи энергии при перевороте электронного и ядерного спинов колебаниям электрического поля в контуре, частью которого является точка. Отметим, что именно такая схема, возможно, окажется оптимальной с точки зрения эксперимента по наблюдению самополяризации ядер основной решетки.

Значительная роль в диссертационной работе Вениамина Абалмасова отведена получению аналитических зависимостей для скоростей спиновой релаксации электронов и ядер. Сильной стороной работы является также четкое выделение степенных зависимостей скорости спиновой релаксации от основных параметров системы, таких как внешнее магнитное поле и размер квантовой точки, что является особенно важным при анализе экспериментальных данных.

Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений, она подтверждена внутренней непротиворечивостью выбранных автором теоретических методов, а в ряде случаев и сопоставлением с результатами других авторов и с экспериментом. Полученные в диссертации В.А. Абалмасова результаты представляют интерес для организаций, занимающихся изучением спиновой физики, таких как Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Институт физики твердого тела РАН, МГУ, МФТИ, СПбГПУ и др.

По существу полученных в диссертационной работе результатов недостатков, влияющих на общую высокую оценку работы, нет. Тем не менее, имеются следующие **замечания**:

1. Остается неясным, при каких параметрах структур с квантовыми точками и величинах внешних полей механизмы спиновой релаксации, предложенные автором,

являются доминирующими.

2. В пятой главе достаточно подробно описывается система, в которой возможна самополяризация ядер, основанная на динамической подстройке емкости электрического контура. Возможность экспериментальной реализации такого подхода, однако, не обсуждается.

Указанные недостатки не умаляют общего положительного впечатления от работы.

Доклад В.А. Абалмасова заслушан и обсужден на Низкоразмерном семинаре ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, протокол 12/1 от 1 декабря 2014 г. По результатам обсуждения диссертация получила положительную оценку. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в авторитетных реферируемых российских и международных журналах, рекомендуемых ВАК РФ, докладывались на ведущих международных конференциях. Автореферат достаточно полно и адекватно отражает содержание диссертации.

Считаем, что по характеру и объему выполненных исследований, актуальности поставленных задач, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа "Теоретическое исследование поведения спинов электрона и ядер в квантовой точке" полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, а ее автор, Абалмасов Вениамин Александрович, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Отзыв составил

доктор физ.-мат. наук

Председатель семинара

член-корреспондент РАН

Секретарь семинара

кандидат физ.-мат. наук



/М.М. Глазов/

/Е.Л. Ивченко/

/М.О. Нестоклон/

Список научных публикаций сотрудников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук:

1. Durnev M. V., Glazov M. M., Ivchenko E. L. Spin-orbit splitting of valence subbands in semiconductor nanostructures // Phys. Rev. B 89(7), 075430 (2014).
2. Smirnov D. S., Glazov M. M., Ivchenko E. L. Effect of exchange interaction on the spin fluctuations of localized electrons // Physics of the Solid State 56(2), 254-262 (2014).
3. Poltavtsev S. V., Ryzhov I. I., Glazov M. M. et al. Spin noise spectroscopy of a single quantum well microcavity // Phys. Rev. B 89(8), 081304 (2014).
4. Golub L. E., Ivchenko E. L. Spin-dependent phenomena in semiconductors in strong electric fields // New Journal of Physics 15, 125003 (2013).
5. Akimov I. A., Dzhioev R. I., Korenev V. L. et al. Electron spin dynamics and optical orientation of Mn²⁺ ions in GaAs // J. Appl. Phys. 113(13), 136501 (2013).
6. Korenev V. L., Akimov I. A., Zaitsev S. V. et al. Dynamic spin polarization by orientation-dependent separation in a ferromagnet-semiconductor hybrid // Nature Comm. 3, 959 (2012).
7. Kochereshko V. P., Besombes, L., Cox, R. T. et al. Spin properties of trions in a dense quasi-2D electron gas // Semiconductors 46(12), 1502-1505 (2012).
8. Glazov M. M., Ivchenko E. L. Spin noise in quantum dot ensembles // Phys. Rev. B 86(11), 115308 (2012).
9. Ивченко Е. Л. Спиновая физика в полупроводниковых наносистемах // УФН. - 2012. - Т. 182, № 8. - С. 869-876.
10. Golub L. E., Ivchenko E. L. Spin orientation by electric current in (110) quantum wells // Phys. Rev. B 84(11), 115303 (2011).
11. Glazov M. M., Ivchenko E. L., Poddubny A. N., Khitrova G. Purcell factor in small metallic cavities // Physics of the Solid State 53(9), 1753-1760 (2011).
12. Kochereshko V. P., Besombes, L., Mariette H. et al. Spin properties of trions in a dense 2DEG // physica Status Solidi B 247(6), 1531-1534 (2010).
13. Glazov M. M., Ivchenko E. L. Electron-electron scattering effect on spin relaxation in multi-valley nanostructures // Europhysics Letters 87(5), 57005 (2009).
14. Nestoklon M. O., Ivchenko E. L., Jancu J. -M., Voisin P. Electric field effect on electron spin splitting in SiGe/Si quantum wells // Phys. Rev. B 77(15), 155328 (2008).

Учёный секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе



Всероссийский институт физики / *Шергина А.П.*