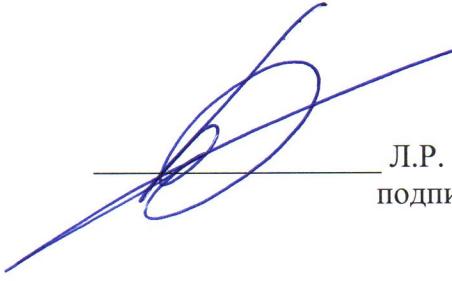


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОТЧЕТ  
о деятельности OpenLab «Спинtronные приложения»

Научный руководитель  
профессор,  
д.ф.-м.н.,

Л.Р. Тагиров  
подпись, дата



Руководитель приоритетного направления  
профессор,  
д.ф.-м.н.,

Д.А. Таюрский  
подпись, дата



Казань 2015

1. НИЛ «Спинtronные приложения», создана 24.03.2014 приказом 01-06/304, научный руководитель – проф., д.ф.-м.н., зав. кафедрой физики твердого тела Тагиров Ленар Рафгатович, контактный телефон рабочий: 233-7698; сот. 8-917-2680182, e-mail: ltagirov@mail.ru.
  2. Расположение лаборатории – к. 028 здания Института физики, Кремлевская 16А, тел. 233-7779.
  3. Приоритетное направление: перспективные материалы. Основные направления работ – синтез, исследование физических и функциональных свойств, моделирование перспективных материалов и гетероструктур для спинtronных и оптронных приложений. Выполняемый проект – СПИНТЕХ (ППК).
4. Кадровый состав:
1. Тагиров Ленар Рафгатович, д.ф.-м.н., профессор, 08.05.1954 г. рождения, г.н.с. (0.1 ст.), научный руководитель лаборатории, заведующий кафедрой физики твердого тела ИФ КФУ.
  2. Рязанов Валерий Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, 14.09.1953 г. рождения, в.н.с. (0.5 ст.), научный консультант проекта СПИНТЕХ, заведующий лабораторией сверхпроводимости Института физики твердого тела РАН, г. Черноголовка МО.
  3. Куприянов Михаил Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор, 09.10.1949 г. рождения, в.н.с. (0.5 ст.), заведующий лабораторией Физики наноструктур НИИЯФ им. Д.В. Скobel'цина Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова.
  4. Столяров Василий Сергеевич, к.ф.-м.н., 29.03.1982, научный сотрудник (0.5 ст.), старший научный сотрудник лаборатории "Топологические квантовые явления в сверхпроводящих системах" МФТИ.
  5. Усеинов Артур Ниазбекович, к.ф.-м.н., 12.07.1981, научный сотрудник (0.5 ст.), пост-док Национального университета Цинь Хуа (NTHU), Тайвань.
  6. Вахитов Искандер Рашидович, 19.01.1988, м.н.с. (0.4 ст.), инженер ЦКП ХФИ КФУ.
  7. Гумаров Амир Илдусович, 10.11.1987, м.н.с. (0.4 ст.), инженер ЦКП ХФИ КФУ.
  8. Янилкин Игорь Витальевич, 20.12.1986, стажер-исследователь (1.0 ст.), основное место работы.
  9. Валиуллин Альберт Айзатович, м.н.с. (0.5 ст.), 23.08.1989, основное место работы, аспирант кафедры ФТТ ИФ КФУ.
  10. Петухов Денис Александрович, м.н.с. (1.0 ст.), 18.08.1989, основное место работы, аспирант кафедры ФТТ ИФ КФУ.
  11. Гайфуллин Рашид Рифкатович, 21.10.1989, стажер-исследователь (1.0 ст.), основное место работы, аспирант кафедры ФТТ ИФ КФУ.
  12. Никитин Николай Петрович, 16.01.1992, стажер-исследователь (1.0 ст.), основное место работы, аспирант кафедры ФТТ ИФ КФУ.
  13. Гайнутдинов Азат Радикович, 17.01.1994, стажер-исследователь (0.5 ст.), основное место работы, студент 4-го курса ИФ КФУ.
  14. Загитова Альбина Азатовна, 26.05.1995, стажер-исследователь (0.5 ст.), основное место работы, студент 4-го курса ИФ КФУ.
  15. Попова Ирина Ивановна, 17.11.1993, стажер-исследователь (0.5 ст.), основное место работы, студент 4-го курса ИФ КФУ.
  16. Хижкина Ирина Вадимовна, 25.04.1994, стажер-исследователь (0.5 ст.), основное место работы, студент 4-го курса ИФ КФУ.

5. Перечень дорогостоящего научного оборудования OpenLab «Спинtronные приложения»

5.1. Высоковакуумная установка для напыления ультратонких пленок магнитных и немагнитных металлов, полупроводников, диэлектриков и функциональных гетероструктур на их основе (SPECs, Германия, 2013);

5.2. Универсальная установка ультразвуковой микросварки контактов (West Bond 747677, США, 2012)

5.3. Прецизионная дисковая пила с компьютерным управлением в комплекте (MTI, США, 2012)

5.4. Стенд доочистки газов (аргон, азот) (ООО Сигм плюс инжиниринг, Москва, 2014)

6. Научные партнеры OpenLab «Спинtronные приложения»:

Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка МО, Россия

НИИЯФ им. Д.В. Скobel'цина Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия

Университет Аугсбурга, г. Аугсбург, Германия

7. Стажировки сотрудников OpenLab «Спинtronные приложения»

Мероприятия по стажировкам в 2014-2015 годах не используются

8. Подготовка кадров высшей квалификации на базе OpenLab - 4 аспиранта на 09.2015:

- Валиуллин Альберт Айзатович, аспирант 3-го года обучения.

- Петухов Денис Александрович, аспирант 2-го года обучения

- Гайфуллин Рашид Рифкатович, аспирант 2-го года обучения.

- Никитин Николай Петрович, аспирант 2-го года обучения.

9. Научные отчеты по проектам НИР, выполняемым в OpenLab «Спинtronные приложения» в 2014-2015 гг.

Отчет о научно-исследовательской работе по проекту СПИНТЕХ, 2014 г., рег. номер 115033170022.

#### Аннотация

Материалы для спинtronных и оптронных приложений являются приоритетными на текущем этапе развития науки и приложений наноматериалов. В рамках проекта развивались некоторым направлений разработки технологий синтеза, исследования и моделирования физических характеристик функциональных материалов: для сверхплотной записи и хранения информации в тонкопленочных носителях (экспериментальные работы); для применения в качестве сверхчувствительных сенсоров магнитного поля (теоретические работы); для сенсоров электрических и магнитных полей на основе мультиферроидных материалов (экспериментальные работы); сверхпроводящие переключатели на гетероструктурах сверхпроводник-ферромагнетик (экспериментальные и теоретические работы), а также наноматериалы для манипулирования оптическим излучением. В результате проведенных разработок и исследований получены и исследованы сверхтонкие магнитные пленки с перпендикулярной анизотропией для сверхплотной магнитной записи информации; разработаны теоретические модели магнитных тунNELьных гетероструктур с гигантским магнитосопротивлением; синтезированы образцы и исследованы сверхпроводящие свойства гетероструктур сверхпроводник-ферромагнетик для управления токами в сверхпроводящих цепях; синтезированы образцы и исследованы магнитные свойства новых мультиферроидных материалов на основе полупроводниковых оксидов; синтезированы образцы и исследованы оптические гранулярные наноматериалы.

10. Важнейшие достижения согласно Приложению 2:

- в области фундаментальных исследований:

- 1) Гигантское магнитосопротивление двухбарьерной магнитной тунNELьной гетероструктуры.
- 2) Джозефсоновский спиновый клапан.

11. Список публикаций OpenLab «Спинtronные приложения» за 2014-2015:

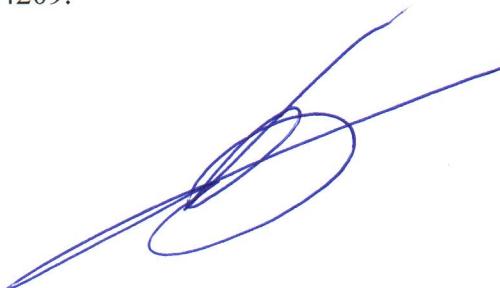
**- проиндексированных в БД WoS:**

1. Камзин, А.С. *Магнитная анизотропия многослойных структур  $[FePt]_n$*  / А.С. Камзин, Fulin Wei, B.P. Ганеев, А.А. Валиуллин, Л.Д. Зарипова // Журнал технической физики. – 2014. – Т.84, В.3. - С. 144-147 [Technical Physics Volume 59, Issue 3, March 2014, Pages 452-455].
2. Лядов, Н.М. *Исследование оптических свойств  $ZnO$  и  $Al_2O_3$ , имплантированных ионами серебра* / Н.М. Лядов, А.И. Гумаров, В.Ф. Валеев, В.И. Нуждин, В.В. Базаров, И.А. Файзрахманов // Журнал технической физики. – 2014. – Т.84, В.5. - С. 62-65 [Technical Physics Volume 59, Issue 5, May 2014, Pages 692-695].
3. Камзин, А.С. *Влияние толщины пленки и дополнительных элементов ( $Al$ ,  $O$  и  $N$ ) на свойства пленочных структур  $FeCo$*  / А.С. Камзин, Fulin Wei, B.P. Ганеев, А.А. Валиуллин, Л.Д. Зарипова, Л.Р. Тагиров // Физика твердого тела. – 2014. – Т.56, В.5. – С.914-920 [Physics of the Solid State Volume 56, Issue 5, May 2014, Pages 948-954].
4. Maksutoğlu, M. *Magnetic resonance and magnetization in Fe implanted  $BaTiO_3$  crystal* / M. Maksutoğlu, S. Kazan, N.I. Khalitov, V.I. Nuzhdin, R.I. Khaibullin, L.R. Tagirov, V.V. Roddatis, K.E. Prikhodko, F.A. Mikailzade // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2015. - V.373. - P.103-107 [on-line публикация <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.03.075>].
5. Deminov, R.G. *Proximity effects in superconducting triplet spin-valve  $F2/F1/S$*  / R.G. Deminov, L.R. Tagirov, R.R. Gaifullin, T.Yu. Karminskaya, M.Yu. Kupriyanov, Ya.V. Fominov, A.A. Golubov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. - V.373. - P.16-17 [on-line публикация <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.02.033>].
6. Useinov, N.Kh. *Tunnel magnetoresistance in asymmetric double-barrier magnetic tunnel junctions* / N.Kh. Useinov, D.A. Petukhov, L.R. Tagirov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. - V.373. - P.27-29 [on-line публикация <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.02.051>].
7. Khaydukov, Y. / *Structural, Magnetic, and Superconducting Characterization of the  $CuNi/Nb$  Bilayers of the S/F Type Using Polarized Neutron Reflectometry and Complementary Techniques* / Y. Khaydukov, R. Morari, L. Mustafa, J.-H. Kim, T. Keller, S. Belevski, A. Csik, L. Tagirov, G. Logvenov, A. Sidorenko, B. Keimer // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. - 2015. - V.28, N3. - P.1143-1147 [on-line публикация DOI 10.1007/s10948-014-2850-3].
8. Soloviev, I.I. *Critical Current of SF-NFS Josephson Junctions* / I.I. Soloviev, N.V. Klenov, S.V. Bakursky, M.Yu. Kupriyanov, A.A. Golubov // JETP Letters. – 2015. - V.101, N4. – P.240–246.
9. Khapaev, M.M., Kupriyanov, M.Yu. *Inductance extraction of superconductor structures with internal current sources* // Supercond. Sci. Technol. – 2015. – V.28, N5. – P.055013.
10. Bakurskiy, S.V. *Josephson Effect in SIFS Tunnel Junctions with Domain Walls in the Weak Link Region* / S.V. Bakurskiy, A.A. Golubov, N.V. Klenov, M.Yu. Kupriyanov, I.I. Soloviev // JETP Letters. – 2015. - V.101, N11. – P.765-771.

11. Kamzin, A.S. *Control of the Magnetization Orientation in  $L_{10}$  FePt Films by Means of Annealing in a Magnetic Field near the Curie Temperature* / A.S. Kamzin, J.W. Cao, B. Ma, F.L. Wei, A.A. Valiullin, V.R. Ganeev, L.D. Zaripova // Physics of the Solid State. – 2015. – V.57, N9. – P.1772–1780.
12. Усейинов, Н.Х. *Квазиклассические функции Грина магнитных точечных контактов* / Н.Х. Усейинов // ТМФ – 2015. - Т.183, №2. – С.301-311.
13. Useinov, A.N. *Tunnel magnetoresistance in magnetic tunnel junctions with embedded nanoparticles* / A.N. Useinov, N.Kh. Useinov, L.-X. Ye, T.-H. Wu, C.-H. Lai // IEEE Transactions on Magnetics. – 2015. - doi: 10.1109/TMAG.2015.2451705.

**Индексируемые в БД SCOPUS::**

14. Vakhitov, I.R. *Effect of nickel ions implantation and subsequent thermal annealing on structural and magnetic properties of titanium dioxide* / I.R. Vakhitov, N.M. Lyadov, V.F. Valeev, V.I. Nuzhdin, L.R. Tagirov, R.I. Khaibullin // Journal of Physics: Conference Series – 2014. - V.572. – P. 012048.
15. Valiullin, A.A. *Studying the Ferromagnetic–Paramagnetic Phase Transition in Thin Films of  $L_{10}$  FePt<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>* / A.A. Valiullin, A.S. Kamzin, S. Ishio, T. Hasegawa, V.R. Ganeev, L.R. Tagirov, and L.D. Zaripova // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics. – 2015. – V.79, N8. – P.999–1001.
16. Lyadov, N.M. *Optical and electrical studies of ZnO thin films heavily implanted with silver ions* / N.M Lyadov, A.I. Gumarov, V.F. Valeev, V.I. Nuzhdin, R.I. Khaibullin and I.A. Faizrakhmanov // Journal of Physics: Conference Series - 2014. - V.572. – P. 012022.
17. Deminov, R.G. *Magnetic and superconducting heterostructures in spintronics* / R.G. Deminov, N.Kh. Useinov, L.R. Tagirov // Magnetic Resonance in Solids. – 2014. –V.16,N2. – P.14209.



Тагиров Л.Р.

**I. Сведения о наиболее значимых научных результатах НИР**

## Спиновые приложения

## 1. Наименование результата:

Гигантское магнитосопротивление двухбарьерной магнитной тунNELьной гетероструктуры

## 2. Результат научных исследований и разработок (выбрать один из п. 2.1 или п. 2.2)

## 2.1. Результат фундаментальных научных исследований

- теория
- метод
- гипотеза
- другое (расшифровать):

## 2.2. Результат прикладных научных исследований и экспериментальных разработок

- методика, алгоритм
- технология
- устройство, установка, прибор, механизм
- вещество, материал, продукт
- штаммы микроорганизмов, культуры клеток
- система (управления, регулирования, контроля, проектирования, информационная)
- программное средство, база данных
- другое (расшифровать):

## 3. Результат получен в Приоритетном направлении развития науки, технологий и техники в Российской Федерации:

- Безопасность и противодействие терроризму
- Индустрия наносистем
- Информационно-телекоммуникационные системы
- Науки о жизни
- Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники
- Рациональное природопользование
- Транспортные и космические системы
- Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

## 4. Коды ГРНТИ: 29.19.16; 29.19.22; 29.19.23

## 5. Назначение:

Двухбарьерная магнитная гетероструктура, обнаруживающая гигантское тунNELьное магнитосопротивление

## 6. Описание, характеристики:

Проводимость тунNELьных барьеров экспоненциально зависит от толщины барьера и параметров энергетических зон металлов, примыкающих к барьеру. Спиновое расщепление энергетических зон проводимости ферромагнитных металлов приводит к экспоненциальному зависимости спин-поляризованного тока через магнитные тунNELьные гетероструктуры. Расчет магнитной двухбарьерной тунNELьной гетероструктуры, выполненный в рамках квазиклассической теории транспорта в мезоскопических системах, показал, что магнитосопротивление такой гетероструктуры может достигать трех-четырех сотен процентов (изменение сопротивления в 4-5 раз) при комнатной температуре.

## 7. Преимущества перед известными аналогами:

Имеются численные расчеты

## 8. Область(и) применения:

Сенсоры магнитного поля, ячейки магнеторезистивной тунNELьной памяти

## 9. Правовая защита:

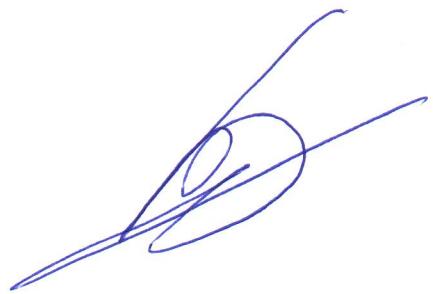
Объект авторского права, статья

## 10. Стадия готовности к практическому использованию:

Содержание работы опубликовано в статье Useinov, N.Kh. / N.Kh. Useinov, D.A. Petukhov, L.R. Tagirov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. - V.373. - P.27-29 [on-line публикация 2014 г.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.02.051>]

11. Авторы:

Н.Х. Усейнов, Д.А. Петухов, Л.Р. Тагиров



**I. Сведения о наиболее значимых научных результатах НИР**

## Спиновые приложения

1. Наименование результата:

Джозефсоновский спиновый клапан

2. Результат научных исследований и разработок (выбрать один из п. 2.1 или п. 2.2)

2.1. Результат фундаментальных научных исследований

- теория
- метод
- гипотеза
- другое (расшифровать):

+

2.2. Результат прикладных научных исследований и экспериментальных разработок

- методика, алгоритм
- технология
- устройство, установка, прибор, механизм
- вещество, материал, продукт
- штаммы микроорганизмов, культуры клеток
- система (управления, регулирования, контроля, проектирования, информационная)
- программное средство, база данных
- другое (расшифровать):

3. Результат получен в Приоритетном направлении развития науки, технологий и техники в Российской Федерации:

- Безопасность и противодействие терроризму
- Индустрия наносистем
- Информационно-телекоммуникационные системы
- Науки о жизни
- Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники
- Рациональное природопользование
- Транспортные и космические системы
- Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

+

4. Коды ГРНТИ: 29.19.22; 29.19.29; 29.19.39

5. Назначение:

Предложена новая джозефсоновская гетероструктура, критический ток которой управляемся слабым магнитным полем

6. Описание, характеристики:

Через сверхтонкие гетероструктуры сверхпроводник-ферромагнетик-нормальный металл-изоляторможет протекать сверхпроводящий джозефсоновский ток, управлять которым можно с помощью воздействия на ферромагнитные составляющие гетероструктуры. Предложен и рассчитан дизайн такой джозефсоновской гетероструктуры, SF-NFS, где S – сверхпроводник, N – нормальный маэталл, F – ферромагнетик, сопряженные между собой в плоскости особым образом. Критический ток такой гетероструктуры может меняться на 1-2 порядка в зависимости от направления магнитного момента ферромагнитного слоя, которое задается слабым магнитным полем порядка десятков эрстед.

7. Преимущества перед известными аналогами:

Аналогов нет

8. Область(и) применения:

Элементная база сверхпроводящих компьютеров

9. Правовая защита:

Объект авторского права, статья

10. Стадия готовности к практическому использованию:

Содержание работы опубликовано в статье Soloviev, I.I. Critical Current of SF-NFS Josephson Junctions / I.I. Soloviev, N.V. Klenov, S.V. Bakursky, M.Yu. Kupriyanov, A.A. Golubov // JETP Letters. – 2015. - V.101, N4. – P.240–246.

11. Авторы:

И.И. Соловьев, Н.В. Кленов, С.В. Бакурский, М.Ю. Куприянов, А.А. Голубов

