

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

### «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 2

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-02-2018-842, Внутренний номер соглашения 14.617.21.0001

Тема: «Экспериментальное и теоретическое исследование физических свойств квантовых нанoeлектронных систем пониженной размерности»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем (ИН)

Критическая технология: Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

Период выполнения: 03.10.2017 - 30.06.2019

Плановое финансирование проекта: 57.60 млн. руб.

Бюджетные средства 28.80 млн. руб.,

Внебюджетные средства 28.80 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Иностранный партнер: Греческий фонд исследований и технологий

Ключевые слова: Квантовая нанoeлектроника, криoeлектроника, макроскопические квантовые явления, сверхпроводимость, низкоразмерные системы, граничные явления, неравновесные явления, мезоскопика, квантовый транспорт, нанотехнология

#### 1. Цель проекта

Целью проекта является исследование фундаментальных вопросов макроскопической квантовой когерентности и неравновесных квантовых процессов, являющихся базой для создания нового поколения нанoeлектронных устройств, имеющих потенциал для применения в таких областях как информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), вычислительная техника и различного рода электронные системы широкого профиля.

Тактической задачей проекта является создание высококлассного международного научного консорциума российских и греческих исследователей с комплементарной экспертизой, способствующей получению прорывных результатов в области изучения квантовых электронных явлений, наблюдающихся в твердотельных наноструктурированных и мезоскопических системах.

Исследовательская программа рассматривается как сбалансированный процесс, включающий технологические работы, эксперимент, теоретическое моделирование, численные расчеты и разработку прототипов нанoeлектронных устройств.

#### 2. Основные результаты проекта

Разработаны научно-технологические основы получения, изготовления, микроскопического и структурного анализа новых наноструктурированных материалов и квантовых нанoeлектронных систем пониженной размерности.

Развита методика исследований транспортных характеристик различных квантовых нанoeлектронных систем и устройств при низких и сверхнизких температурах.

Построены теоретические модели, описывающие транспортные характеристики низкоразмерных квантовых нанoeлектронных систем пониженной размерности.

Подготовлены рекомендации по созданию конкурентоспособной продукции, услуг и использованию результатов проведенных исследований.

Были перевыполнены заявленные обязательства по публикациям результатов в высокорейтинговых международных изданиях, что подтверждает высокий уровень технологических разработок, теоретических и экспериментальных исследований.

Было продемонстрировано успешное и устойчивое межгосударственное научное взаимодействие с иностранным партнером. Были установлены прочные контакты с консорциумом иностранного партнера (четыре научных коллектива), которые привели к взаимовыгодному сотрудничеству и обогащению научными и технологическими методиками. В отчетном году было проведено два совместных совещания по проекту. Также результаты совместной работы были представлены на нескольких

международных научных конференциях.

Сайт проекта: <http://project-einstein.iesl.forth.gr/>

Информация на сайте исполнителя: [https://miem.hse.ru/quantum\\_nanoelectronic\\_systems](https://miem.hse.ru/quantum_nanoelectronic_systems)

### **3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

По результатам работ подготовлены патентные заявки "Ячейка квантовой памяти на основе сверхпроводниковой наноструктуры" (уведомление ФИПС № 2018145450 от 20.12.2018),  
"Аппарат для электрохимического получения слоистых металлических нанопроводов" (уведомление ФИПС № 2019101459 от 18.01.2019)

### **4. Назначение и область применения результатов проекта**

Тематика исследований проекта соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники РФ «Индустрия наносистем и материалов». Технологические решения, разработанные в рамках проекта, внесут ощутимый вклад в развитие критических технологий РФ «Нанотехнологии и наноматериалы» и «Технологии создания электронной компонентной базы».

### **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

Низкоразмерные квантовые нанoeлектронные системы являются актуальным объектом изучения фундаментальных явлений и принципов физики конденсированного состояния, имеющих важное перспективное значение для различных приложений. В частности, дальнейшее повышение быстродействия и плотности элементов вычислительных устройств ограничивается допустимой плотностью тепловыделения традиционных (полупроводниковых) элементов, которое в настоящее время достигло предельных величин. В этой связи использование сверхпроводящих или спинтронных элементов в нанoeлектронных устройствах следующего поколения должно привести к огромным по масштабу качественно новым технологическим решениям.

### **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

Проект относится к фундаментальным исследованиям. Коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности не входила в непосредственные задачи проекта.

Результаты, полученные в ходе выполнения проекта позволяют создать устройства, открывающие принципиально новые возможности для таких областей как информатика, телекоммуникация, метрология и вычислительная техника. Помимо огромной значимости для народного хозяйства, включая такие жизненно важные области как космическая, оборонная индустрия и национальная безопасность, квантовая нанoeлектроника открывает новые горизонты для фундаментальных исследований в широком спектре дисциплин, которые до недавнего времени считались имеющими мало общего: лингвистика и квантовая криптография, нейрохирургия и квантовая информатика.

Сегмент сверхпроводниковых квантовых устройств находится в специфической области использования и продаж промышленной продукции и имеет следующую специфику. Спецификой подобного оборудования является его узкая направленность, так как оборудование должно решать специализированные задачи в рамках определенной цели. В связи с этим для каждого конкретного случая применения необходимо формулировать отдельные требования к такому оборудованию, определяемые целями, для достижения которых предназначено данное оборудование. Требования назначения, а, следовательно, основные технические характеристики, оборудования сильно зависят от задач и условий их применения. Изделия такого класса для не выпускаются серийно, а разрабатываются индивидуально с учётом особенностей его использования, в первую очередь с учетом условий эксплуатации. С точки зрения оценки рыночного потенциала устройств на основе сверхпроводниковых наноструктур, особенностями рынка являются его не очень значительный объём при том, что имеет место сравнительно высокая стоимость продукции и повышенные требования к её работоспособности и надёжности. В связи с этим рыночный потенциал устройств определяется в первую очередь его конкурентоспособностью в сравнении с существующим оборудованием.

Кроме того, корректные выводы и предложения о коммерциализации данных устройств, в первую очередь определение их рыночной цены, возможно только после выполнения ОКР, по результатам которой будут подтверждены испытаниями значения потребительских параметров устройства в промышленном исполнении. По этим причинам оценка рыночного потенциала полученных результатов может быть проведена косвенным методом – путем сравнения характеристик устройств с соответствующими характеристиками наиболее близких аналогов, пользующихся спросом на рынке, т.е. прототипов.

Достигнутые успехи на пути создания нанoeлектронных сверхпроводниковых и/или спинтронных устройств показывают высокую вероятность создания нового типа конкурентного продукта, с новыми, улучшенными характеристиками, принципиально не достижимыми в рамках предшествующих технологий. Потенциальный объём рынка, оцененный исходя из специфики основных потребителей продукции, а также коммерческой самостоятельности разрабатываемой продукции, может

составить примерно 100 млн. руб. в год.

## 7. Наличие соисполнителей

Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН (ИФП)-2017-2018гг

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН)-2017-2018гг

Институт физики твердого тела РАН (ИФТТ)-2017-2018гг

Московский физико-технический институт (МФТИ)-2017-2018гг

Иностранный партнер:

- Греческий фонд исследований и технологий (FORTH - головная организация иностранного партнера)-2017-2018гг
- Национальный исследовательский центр "Демокритос" (Demokritos)-2017-2018гг
- Технический университет г. Афины (TUA)-2017-2018гг
- Университет Аристотеля г. Салоники (AUTH)-2017-2018гг

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Директор МИЭМ

*(должность)*

*(подпись)*

Крук Е.А.

*(фамилия, имя, отчество)*

Руководитель работ по проекту

профессор

*(должность)*

*(подпись)*

Арутюнов К.Ю.

*(фамилия, имя, отчество)*

М.П.