

Первая из ныне активно действующих научных лабораторий «Нестационарные гидродинамические течения» была создана в 2000 г. при кафедре «Теоретическая и экспериментальная механика» физико-технического факультета (ФТФ). По мере развития и становления ФТФ и института лаборатории организовывались и при других кафедрах. Сегодня в СарФТИ 10 научных лабораторий (из них две студенческие), оснащенных современным оборудованием, что позволяет проводить исследования высокого уровня по целому ряду направлений. Лаборатории созданы совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», исследования проводятся командами, состоящими из сотрудников, студентов и аспирантов СарФТИ и сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Руководство СарФТИ и Федерального ядерного центра, для которого СарФТИ – базовый ВУЗ, считают научные исследования неотъемлемой частью образовательного процесса, которая в значительной степени помогает подготовке специалистов высокой квалификации, и всячески способствует развитию научного комплекса института.

За последние три года созданы три лаборатории:

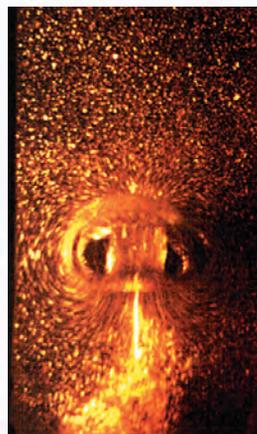
- студенческая лаборатория «Физика высоких плотностей энергии»;
- студенческая лаборатория «Исследование сплит-эффектов для безопасной транспортировки информационной составляющей в разнородных телекоммуникационных системах кластерного типа»;
- лаборатория «Информационно-вычислительный комплекс для удаленного доступа к детекторам и базам данных Большого адронного коллайдера ЦЕРН».

Ниже приведена краткая информация о направлениях научной деятельности лабораторий и основных их достижениях за последние годы.

Лаборатория «Нестационарные гидродинамические течения». Кафедра «Теоретическая и экспериментальная механика». Научный руководитель с момента создания и по сей день – к.ф.-м.н. Е. Е. Мешков.

Основное направление исследований лаборатории – гидродинамические неустойчивости. Работы Евгения Евграфовича Мешкова в этой

области еще в начале 1980-х гг. приобрели известность на мировом уровне.



Воздушный пузырь, всплывающий в воде

течения по его поверхности. Результаты исследований опубликованы в престижных мировых журналах.

Параллельно в лаборатории развивались методы исследования развития неустойчивости свободной поверхности конденсированной среды при выходе на нее нестационарной затухающей ударной волны (волны Тейлора), проводилось изучение механизмов образования и развития вихревых воронок, разрабатывались методы тушения крупномасштабных лесных пожаров, решался ряд других задач. Лаборатория давно и успешно сотрудничает с Институтом физики взрыва, Институтом теоретической и математической физики и Институтом лазерно-физических исследований РФЯЦ-ВНИИЭФ.



Гашение столба пламени диспергированной водой

Лаборатория принимает участие в развитии учебного процесса в СарФТИ НИЯУ МИФИ. В частности, в 2008 г. была начата разработка комплекса лабораторных работ по газодинамике. Газодинамика является одной из составляющих научного фундамента ВНИИЭФ и полу-

чение базовых представлений о ней необходимо не только будущим газодинамикам, но и студентам других специальностей, например, прикладным физикам и математикам. Одним из наиболее эффективных путей получения таких представлений считаются лабораторные работы. Между тем, внедрение лабораторных работ по газодинамике в рамках университетских курсов в практику обучения студентов является хотя и актуальной, но вместе с тем трудноразрешимой задачей. Трудности связаны с тем, что традиционно в газодинамическом эксперименте используются опасные энергетические материалы (взрывчатые вещества, сжатые газы, электрический взрыв и т. д.). Для их преодоления в последние годы в СарФТИ НИЯУ МИФИ разрабатывается практикум по газодинамике, в котором не используются опасные импульсные источники энергии. Лабораторные работы, входящие в него, основаны на использовании внутренней энергии атмосферного воздуха и газогидравлической аналогии. Безопасность экспериментов в этих работах позволяет студентам проводить их самостоятельно без получения специальных допусков. Практически все лабораторные работы сопровождаются численным расчетом простого одномерного газодинамического течения с использованием расчетного комплекса MASTER Professional, разработанного в РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Начиная с 2003 г. и до последнего времени на базе гидродинамической лаборатории СарФТИ успешно проводится эксперимент по раннему вовлечению учеников старших классов школ Сарова в научную работу. Ученики 9–11-х классов в процессе разработки отдельных методических задач лаборатории приобретают первый опыт участия в научной работе на всех ее этапах – от зарождения идеи до публикации. Одновременно знакомятся с методами исследования и сложными проблемами гидродинамики. Ежегодно в ра-



Лабораторная работа по цилиндрической имплозии

ботах лаборатории участвуют школьники. Ряд их работ был представлен на всероссийских и международных конференциях и опубликован в престижных журналах, в том числе в зарубежных. Несколько докладов школьников заняли призовые (в том числе первые) места на престижных Школьных Харитоновских чтениях, Сахаровских и Колмогоровских чтениях.

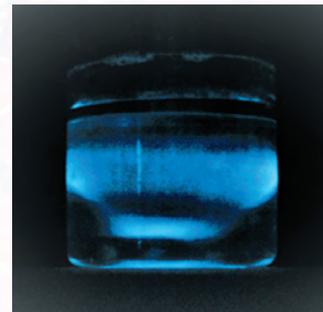
Студенческая лаборатория «Физика высоких плотностей энергии». Кафедра «Экспериментальная физика». Заведующий лабораторией – аспирант СарФТИ Р. В. Козабаранов. Научный руководитель – заместитель руководителя СарФТИ по научной работе, д.ф.-м.н. В. А. Борисенко.

Особенность студенческой лаборатории в том, что здесь руководитель и сотрудники – студенты. Коллектив самостоятельно планирует и проводит исследования.

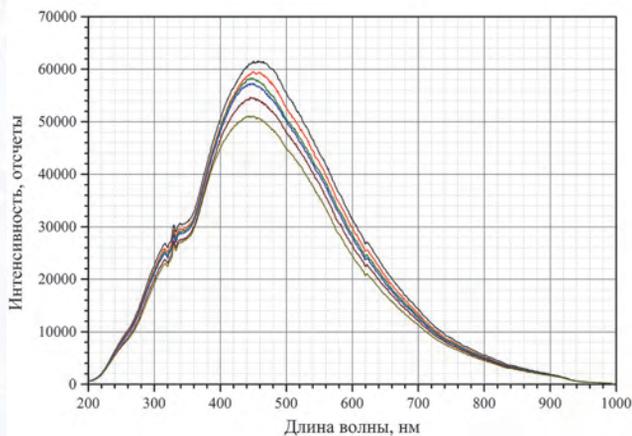


Первый состав студенческой лаборатории

Направление деятельности лаборатории – создание в лабораторных условиях экстремальных состояний вещества, определение их характеристик и изучение сопутствующих физических явлений. В лаборатории проводятся исследования электрических и световых явлений в пузырьковых системах, в том числе сонолюминесценции – испускания импульса света при коллапсе пузырька газа в жидкости при воздействии ультразвука. Коллапс пузырька – пример сферической имплозии, которая имеет место в ядерных и термоядерных зарядах, мишенях для лазерного термоядерного синте-



Многопузырьковая сонолюминесценция



Спектр однопузырьковой сонолюминесценции

за. На последней стадии коллапса в пузырьке реализуются состояния вещества с высокими термодинамическими параметрами: температура более 10^4 К, давление $\sim 5^{10}$ ГПа. В лаборатории проводятся достаточно сложные эксперименты. Для этого студенты изучили и используют в работе современные устройства и приборы: пьезоэлектрический привод, ультразвуковую магнитострикционную установку, генераторы электрических импульсов, усилители мощности, гидрофоны, фотоэлектронные усилители, спектрометры, флуориметры и т. п. За три года с момента создания лаборатория вышла на достаточно высокий уровень: результаты исследований представлены на всероссийских и международных конференциях, подготовлена первая статья, в которой изложен новый метод получения сонолюминесценции. Работа в студенческой лаборатории безусловно полезна для будущих сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Студенческая лаборатория «Исследование сплит-эффектов для безопасной транспортировки информационной составляющей в разнородных телекоммуникационных системах кластерного типа». Кафедра «Радиофизика и электроника». Зав. лабораторией – аспирант А. М. Тарасов. Научный руководитель – д.т.н., профессор Д. Б. Николаев.

Лаборатория создана в начале 2018 г. Основное оборудование – графическая станция FORSITE 950D (производительность 352 Гфлопса, объем памяти 5 Тб), объединенная в локальную сеть с персональными компьютерами. Сегодня в лаборатории проводятся исследования по следующим направлениям:

– анализ, исследование и модернизация существующих блочных алгоритмов в плане повышения скорости обработки информации. На-

пример, оптимизация отдельных блоков алгоритма российского стандарта шифрования «МАГМА» (ГОСТ 28147-89) с помощью технологии CUDA позволила увеличить скорость работы алгоритма приблизительно в 17 раз;



Сотрудники студенческой лаборатории

– построение новых гетерогенных вычислительных систем оптимальных как в плане архитектуры, так в плане производительности. На первом этапе исследуются возможные системы на основе прямого взаимодействия GPU (видеокарты) и FPGA (программируемая вентиляционная матрица);

– разработка носителя секретной информации. Основная задача – обеспечить невозможность несанкционированного доступа;

– разработка универсального детектора сигнала на основе нейронных сетей.

За период с момента создания в лаборатории достигнуты значимые результаты. В 2019 г. ее сотрудники представили три доклада на конференциях всероссийского и международного уровней.

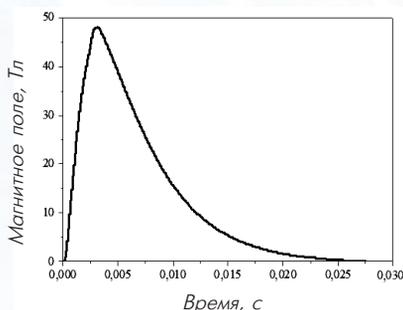
Лаборатория «Сильные магнитные поля и физика твердого тела». Кафедра «Экспериментальная физика». Научный руководитель – г.н.с. ВНИИЭФ, д.ф.-м.н., профессор Ю. Б. Кудасов.

Создана установка импульсных сильных магнитных полей с параметрами импульса: пиковая индукция до 50 Тл, полуширина 5–10 мс без разрушения магнитной системы. В своем классе установка является одной из лучших в России. При ее создании использован опыт научно-производственного центра физики РФЯЦ-ВНИИЭФ – одной из ведущих организаций в мире в области магнитной кумуляции и сверхсильных магнитных полей.

В лаборатории разработана технология изготовления соленоида – одного из основных узлов установки. Соленоид для генерирования магнитных полей такого уровня должен иметь высокую механическую прочность. Поэтому при его изготовлении используются новые материалы – проводники и изоляторы, позволяющие ее обеспечить. Технология постоянно совершенствуется. Сегодня ведется разработка конструкции неразрушаемого соленоида для генерирования импульса поля с пиковой индукцией до 60 Тл.



Соленоид



Импульс поля

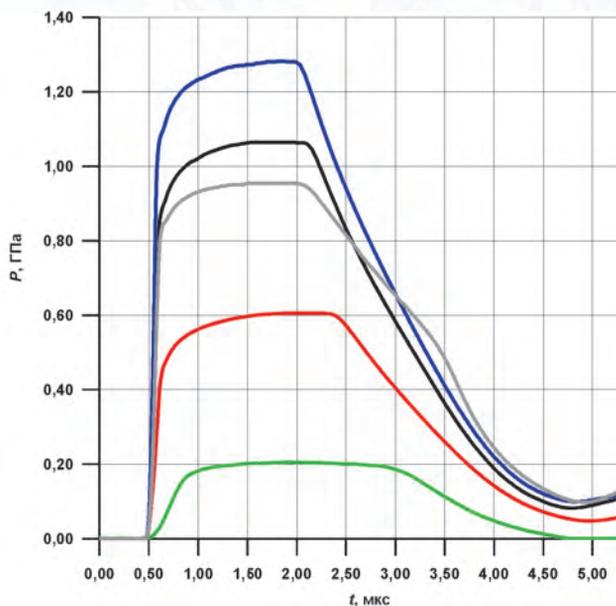
Сильное импульсное магнитное поле – эффективный инструмент для исследования свойств вещества. Особое внимание уделяется измерениям характеристик материалов при низких температурах вплоть до температуры жидкого гелия (4,2 К). Такие возможности в лаборатории есть. Одна из последних крупных работ лаборатории – исследование полупроводниковой гетероструктуры ртуть–теллур с квантовыми ямами, являющейся перспективным материалом для инфракрасной оптоэлектроники. Работа проведена в широкой кооперации с российскими и зарубежными научными организациями. В СарФТИ выполнены измерения циклотронного резонанса в среднем инфракрасном диапазоне (10,6 мкм) и квантового эффекта Холла в диапазоне температур до 77 К. Результаты опубликованы в престижном журнале *Physical Review B*.

В настоящее время в лаборатории проводятся исследования нового класса материалов для оптоэлектроники: пленок ферритов-гранатов, для которых недавно была продемонстрирована возможность оптического переключения намагниченности в фемтосекундном диапазоне времени; разрабатывается технология обратной магнитно-импульсной формовки металлов, проводятся теоретические исследования свойств веществ.

Лаборатория «Перспективные методы диагностики экстремальных состояний вещества». Кафедра «Теоретическая и экспериментальная механика». Научный руководитель – заместитель руководителя СарФТИ по научной работе, д.ф.-м.н. В. А. Борисенко.

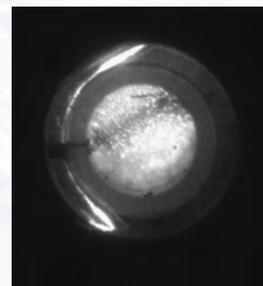
Основная установка лаборатории – легкогазовая пушка (рабочий газ – гелий) калибром 40 мм. На ее базе созданы два исследовательских комплекса: комплекс для изучения свойств материалов при ударном нагружении и комплекс для испытаний электронных узлов на стойкость к перегрузкам.

В экспериментах на первом комплексе ударная волна формируется при соударении снаряда-



Профили давления в ударнонагруженном фторопласте

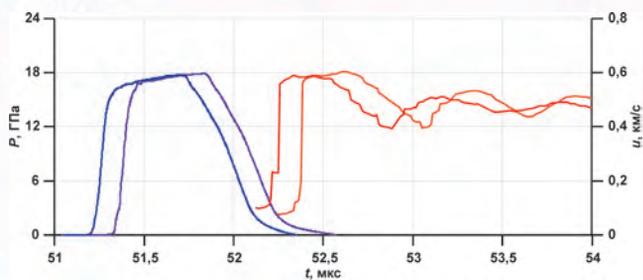
ударника с образцом исследуемого вещества. Скорость снаряда измеряется лазерным устройством, давление в веществе – пьезополимерным датчиком давления, скорость свободной поверхности образца – лазерным интерферометром. Световые эффекты регистрируются скоростной видеокамерой.



Локальные источники света в ударнонагруженном кристалле кварца

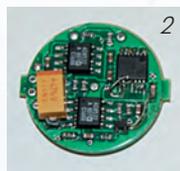
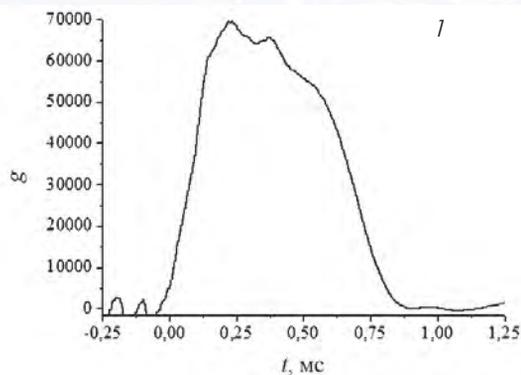
На комплексе проводятся исследования ударных адиабат материалов, откольного разрушения и компактирования, фазовых превращений, световых явлений в прозрачных средах в диапазоне давлений до 10 ГПа (100 000 атм).

В экспериментах на втором комплексе импульс перегрузок формируется при торможении снаряда-контейнера с исследуемыми объектами



Опыт по откольному разрушению стали:

— давление, — массовая скорость



Разрушение электронной сборки при сверхвысоких перегрузках: 1 – импульс ускорения; 2, 3 – электронная сборка до и после воздействия

о крешер специальной конструкции. Перемещение снаряда регистрируется радиоинтерферометром. Пиковые значения перегрузок достигают 70000 g, полуширины импульсов ~1 мс. Разработаны методики контроля режима работы электронных устройств во время действия перегрузок. Испытаны на стойкость к перегрузкам источники тока, микроконтроллер, чип-элементы, кварцевый и кремниевый генераторы, ряд других устройств. Проведены эксперименты по определению порогов разрушения элементов микроэлектроники.

Работа проводится в интересах разработчиков электронных взрывательных устройств для неядерных боеприпасов. Достигнутые результаты отвечают запросам исследователей.

Два года тому назад в лаборатории совместно с Химическим институтом им. А. М. Бутлерова Казанского федерального университета начаты работы по исследованию возможности реализации пребиотических (т. е. происходивших до возникновения жизни на Земле) химических синтезов при ударном воздействии. В качестве основного компонента использован водный раствор формамида (HCONH_2), вещества, достаточно распространенного в космосе. В качестве дополнительных компонентов применялись гидрокарбонат кальция (KHCO_3), повсеместно встречающийся в океанах, триметафосфат натрия ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9$), который содержится в газовых извержениях вулканов, а также ряд других природных соединений. Смесь компонентов нагружалась ударной волной в капсулах

сохранения из нержавеющей стали. Анализ продуктов синтеза проводился методом tandemной хромато-масс-



спектроскопии. Всего в экспериментах из исходных неорганических веществ получено более 50 органических соединений. Синтезированные соединения относятся к различным классам, включая аминокислоты, спирты, амины, гетероциклические соединения, фосфорорганические соединения и т. д.

В целом получен результат мирового уровня, позволивший сформулировать оригинальную гипотезу происхождения жизни: жизнь могла возникнуть благодаря ударному воздействию метеоритов при их падении в щелочные водно-формамидные озера, расположенные вблизи вулканов на ранней Земле.

Лаборатория «Безопасность информационных и технических систем». Кафедра «Радиофизика и электроника». Научный руководитель – в.н.с. ВНИИЭФ, д.т.н., профессор Д. Б. Николаев.

Развитие современного общества невозможно без использования и совершенствования информационных технологий и, следовательно, без широкого спектра информационных и информационно-технических систем, главной составляющей которых являются хранимые, передаваемые, обрабатываемые данные. В зависимости от степени интеграции и уровня глобализации подобных систем циркулирующая информация может отражать по совокупности интересы предприятия, локализованных территориальных образований и даже государств. В связи с этим, несомненно, актуальным является проблема обеспечения информационной стабильности информационных и информационно-технических систем. Под информационной стабильностью понимается обеспечение беспрепятственного доступа к ресурсам указанных систем с защитой от утраты, хищения, несанкционированного изменения, копирования и уничтожения. Актуальность проводимых в данной области работ обусловлена и динамически изменяющимися условиями и все увеличивающимися новыми внешними вызовами. Немаловажным фактором в данном вопросе является необходимость подготовки и совершенствования подготовки специалистов в области защиты информации и поддержания в рабочем состоянии нормативной и научно-технической базы. Именно в этом направлении и ведется деятельность лаборатории «Безопасность информационных и технических систем» на базе СарФТИ НИЯУ МИФИ. Это достаточно молодая лаборатория (создана в 2015 г.), тем не менее, имеет

высокий научный потенциал и развитую техническую инфраструктуру.

Развитие новых компетенций – это комплексная задача, решение которой предполагает наличие соответствующих образовательных программ, научно-методического, технического (лабораторного) и кадрового обеспечения.

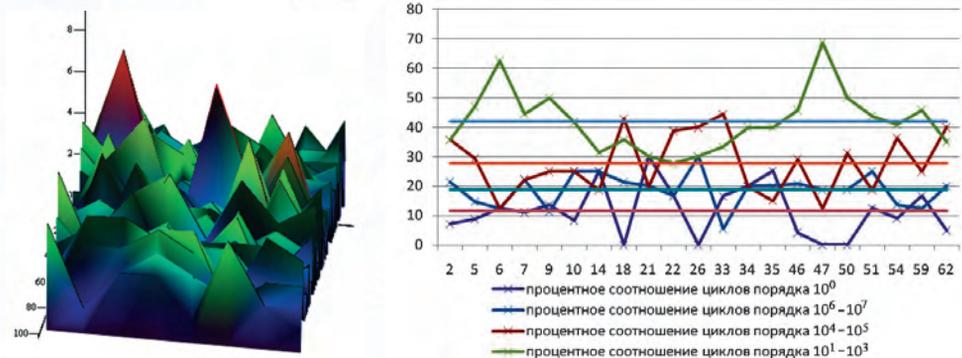
На сегодняшний день в рамках физико-технического факультета, факультета информационных технологий и факультета повышения квалификации получили развитие в виде адаптированных под работодателя образовательных программ, включающих ряд дисциплин, связанных с информационным и техническим обеспечением защиты данных и ресурсов. В частности на базе лаборатории развиваются три подобных направления:

- исследование подходов к разноуровневой адаптируемой идентификации объектов при распределенном информационном взаимодействии;
- исследование вариантов противодействия внешним несанкционированным воздействиям на информационно-коммуникационные структуры посредством реализации методологии метауровневой защищенности;

– создание интеллектуальной среды мониторинга с применением сенсорного оборудования широкого спектра.

В рамках этих работ осуществляется разработка математического аппарата для анализа свойств информации с применением методов компонентной модуляризации и создание макетов технических средств с уникальными характеристиками по противодействию несанкционированным действиям (создание математической основы сплит-эффектов путем стохастического выбора траектории прохождения информации, методов ее дробления и восстановления, а также реализации методики бесконтактной передачи данных – перспективные направления на уровне мировых разработчиков систем безопасности). Уровень проводимых исследований сопоставим с исследованиями мирового уровня, что позволяет находиться на острие мировой науки, обеспечивать подготовку специалистов с учетом современного состояния и получать практические навыки в освоении необходимого информационно-технического обеспечения. В рамках преподавания дисциплин, связанных с информационным и техническим обеспечением защиты данных и ресурсов, разработан

подход, характеризующийся хорошо проработанной лекционной программой, основу которой составляют профильные модули, а не модули «для общего развития», и высококвалифицированными преподавателями, способными корректировать поток информации и оперативно подстраивать курс дисциплины под конкретную аудиторию. Лекционные и практические занятия по этим дисциплинам легли в основу ряда учебно-методических пособий, среди которых «Криптография и безопасность цифровых систем», «Современные методы обеспечения безопасности информации в атомной энергетике», «Технические



средства и методы обеспечения безопасности информации», «Методы и средства обеспечения программно-аппаратной защиты информации. Президентская программа переподготовки инженерных кадров», серия пособий «Стеганографические системы».

«Учебно-исследовательский центр компетенций в области информационных технологий ЯОК». Кафедра «Цифровые технологии». Научный руководитель – зам. директора РФЯЦ-ВНИИЭФ О. В. Кривошеев.

Центр создан в 2014 г. по инициативе директора РФЯЦ-ВНИИЭФ В. Е. Костюкова. Он оснащен высокопроизводительными вычислительными мощностями на базе современного серверного оборудования. Деятельность Центра осуществляется по двум основным направлениям: обучение новым информационным технологиям и научная работа.

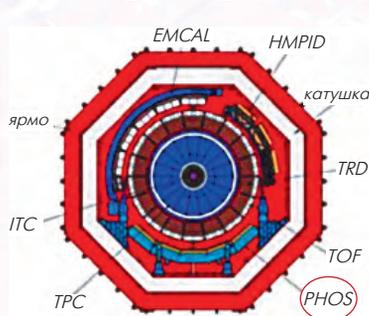
В Центре организовано обучение новым информационным технологиям, способствующим формированию новой производственной среды «Цифровое предприятие». К настоящему моменту прошли обучение и получили комплексные компетенции в области цифровых технологий около 300 выпускников СарФТИ НИЯУ МИФИ – будущих и действующих молодых специалистов подразделений ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

На базе Центра студентами, преподавателями и специалистами РФЯЦ-ВНИИЭФ проводятся научно-исследовательские работы по направлению «Информационные технологии в Ядерном оружейном комплексе». Проанализированы и систематизированы подходы, а также выработан ряд практических рекомендаций по совершенствованию деятельности отраслевых предприятий с учетом лучших мировых практик. Исследован отечественный рынок информационных технологий, применяемых для комплексной автоматизации процесса управления деятельностью предприятия, проведен анализ потенциала российских ИТ-компаний в контексте импортозамещения аналогичных решений зарубежных производителей, используемых российскими предприятиями и организациями. Оценены возможности отечественных программных средств для моделирования бизнес-процессов и автоматизации процессов управления проектами, даны рекомендации по разработке архитектуры ИТ современного научно-производственного предприятия и перспективной бизнес-модели развития ИТ научно-производственного предприятия. Рассмотрены существующие методологии построения системы управления научно-производ-

ственным предприятием на основе ИТ-решений с учетом национальной специфики. Проведено исследование отечественного рынка инструментальных средств для обеспечения моделирования, анализа и оптимизации бизнес-процессов. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта проектного управления в области информационных технологий выработаны рекомендации по реализации ИТ-проектов.

Лаборатория «Информационно-вычислительный комплекс для удаленного доступа к детекторам и базам данных Большого адронного коллайдера ЦЕРН». Кафедра «Ядерная и радиационная физика». Научный руководитель – директор ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, д.ф.-м.н. Н. В. Завьялов.

Современная модель образования Вселенной предсказывает, что в первые микросекунды после Большого взрыва материя представляла собой сверхплотное состояние кварк-глюонного вещества при экстремально высокой температуре.



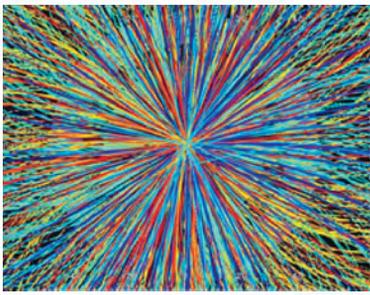
Детекторный комплекс ALICE

Проверка этой гипотезы: создание этого состояния вещества в лабораторных условиях и его исследование – проводится в рамках эксперимента ALICE на Большом адронном коллайдере (БАК) в Европей-

ской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН, Женева). Эта проблема признана одной из наиболее фундаментальных в современной физике.

В числе прочих в эксперименте используется калориметр PHOS на основе сцинтиллятора вольфрамата свинца, в создании которого принимал активное участие РФЯЦ-ВНИИЭФ. Одна из основных проблем экспериментов на БАК – большой поток данных. Возможности имеющейся в ЦЕРН вычислительной технологии позволяют обработать и проанализировать только менее 1 % «сырых» данных. Эта проблема решается за счет предварительной фильтрации данных и создания грид-структур: географически распределенных вычислительных систем, способных принимать и передавать данные объемом порядка сотен терабайт и долговременно хранить сотни петабайт информации.

Для обеспечения активного участия в экспериментах БАК совместно с ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ



Изображение соударения ионов свинца

создан и в конце 2018 г. сдан в эксплуатацию информационно-вычислительный комплекс (ИВК) в СарФТИ НИЯУ МИФИ. Характеристики и функции ИВК:

– 350 Тбайт

памяти для хранения данных.

В серверы загружается информация, прошедшая предварительную фильтрацию;

– вычислительные мощности ИВК SPEC CPU 2000;

– дистанционное управление работой калориметра PHOS.

Информационно-вычислительный комплекс интегрирован в консорциум РДИГ (RDIG – Russian Date Intensive Grid), образованный в рамках сотрудничества России и ЦЕРН.

В июне 2019 г. на площадке ИВК проведены первые учебно-практические занятия для студентов СарФТИ и специалистов РФЯЦ-ВНИИЭФ. Дистанционно прочитаны лекции об устройстве БАК, целях, задачах и детекторах эксперимента ALICE. Проведены практические занятия по методам обработки экспериментальных данных.

Вычислительные мощности СарФТИ. В институте есть компактная суперЭВМ с производительностью 1,1 Тфлопс, графическая станция FORSSITE 950D с производительностью 352 Гфлопса. Также имеется удаленный доступ (оптоволоконный канал) к сегменту суперкомпьютера РФЯЦ-ВНИИЭФ с производительностью 180 Тфлопс.

СарФТИ принимает участие в разработке нового программного обеспечения: в последние годы совместно с математиками ИТМФ проводится тестирование некоторых модулей ПП «ЛОГОС».

В СарФТИ проводятся исследования по целому спектру научных направлений: гидродинамика быстрых процессов, в том числе гидродинамические неустойчивости, получение сильных импульсных магнитных полей и их взаимодействие с веществом, свойства веществ при ударноволновом воздействии, физика высоких плотностей энергии, в том числе сферическая и цилиндрическая имплозия, химические превращения в ударных волнах, информационная безопасность и криптография, развитие концепции «Цифровое предприятие», участие в раз-

работке нового программного обеспечения, испытания электронных устройств на стойкость к перегрузкам. В 2018 г. появилась возможность проводить исследования в области физики высоких энергий. Большинство работ проводится совместно с сотрудниками РФЯЦ-ВНИИЭФ в интересах ядерного центра. Лаборатории используются и в образовательном процессе: проведение лабораторных работ, занятия со школьниками, новые научные результаты включаются в образовательные модули.

За период 2012–2018 гг. по грантам Российского фонда фундаментальных исследований, Федеральной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы», Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», договорам с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и его филиалом НИИИС им. Ю. Е. Седакова выполнены НИР с общим объемом финансирования 165 млн руб. За этот же период времени в журналах и материалах всероссийских и международных конференций опубликовано более 900 работ. Из них: 273 публикации в журналах, индексируемых Российской наукометрической базой данных РИНЦ; 137 публикаций в журналах, индексируемых международными наукометрическими базами данных Scopus и Web of Science; 414 публикаций в соавторстве со студентами и аспирантами.

Научно-исследовательский комплекс СарФТИ постоянно развивается. В 2020 г. будет создана лаборатория сканирующей зондовой микроскопии, оснащенная новейшим оборудованием. Это позволит проводить исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением при решении задач материаловедения и биофизики.

В подготовке материалов для статьи приняли участие к.ф.-м.н. Е. Е. Мешков, Ю. Б. Базаров, д.ф.-м.н. Ю. Б. Кудасов, д.т.н. Д. Б. Николаев, к.ф.-м.н. В. Г. Симаков, д.ф.-м.н. В. А. Токарев, к.э.н. Г. А. Федоренко, аспиранты Р. В. Козабаранов и А. М. Тарасов, студенты И. В. Капранов, А. С. Буркацкий, А. С. Егоров, Д. А. Литвинов.

БОРИСЕНКО Валерий Аркадьевич –
зам. руководителя СарФТИ НИЯУ МИФИ
по научной работе, доктор физ.-мат. наук