

**ИССЛЕДОВАНИЯ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
СВОЙСТВ МАТЕРИИ
И ИННОВАЦИОННЫЕ
ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
НОВОГО
ПОКОЛЕНИЯ**

ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИИ И ИННОВАЦИОННЫЕ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Б.Ю. Шарков, ФГУП «ГНЦ РФ «ИТЭФ»

Принципиальную роль в обеспечении устойчивого развития и конкурентоспособности ядерного энергетического комплекса на внутреннем и внешнем рынках играют фундаментальные научные исследования. Именно фундаментальные исследования свойств материи и природы ядерных сил являются условием для появления новых технологических прорывов, поскольку они обеспечивают получение новых знаний об источниках и природе ядерной энергии и о возможности управления радиоактивными превращениями.

В стратегическом плане научные исследования необходимы для:

- разработки новых ядерно-энергетических установок, основанных на новых физических принципах;
- создания новых баз ядерных данных;
- разработки технологий обращения с радиоактивными отходами;
- разработки новых высокоэффективных детекторов ионизирующих частиц;
- получения новых данных об энергетически выгодных эффектах во взаимодействиях ядер и элементарных частиц.

Перед фундаментальной наукой отрасли на современном этапе стоят конкретные задачи, связанные со стратегией ускоренного развития отрасли. Прежде всего это :

- развитие научно-технологической базы НТП (в т.ч. обоснование, новые подходы, материалы, диагностика, ядерные данные и др.);
- обеспечение перспективных технологий ЯРБ (в т.ч. глубокая переработка и трансмутация);
- расширение сферы использования ядерных технологий в неэнергетической области.

Поисковые и фундаментальные НИР группируются в следующие крупные тематические блоки:

- изучение свойств ядерной материи и природы ядерных сил – источники энергии на новых физических принципах, детектирующая аппаратура ионизирующих излучений нового поколения;

– радиационное материаловедение – создание новых материалов с заданными свойствами, формирование новых принципов мониторинга и управления свойствами материалов;

– физика высоких плотностей энергии и УТС. Поддержание ядерного оружия в условиях отсутствия испытаний, новые источники энергии и излучений, термоядерная энергетика, оружие на новых физических принципах;

– физика направленных потоков излучений.

Фундаментальные исследования свойств ядерной материи и природы ядерных сил являются объектами исследований физики высоких энергий и физики элементарных частиц. Внимание здесь сфокусировано на явлениях, происходящих в линейных масштабах 10^{-15} м и колоссальных энергиях взаимодействий на уровне 10^9 эВ и более (рис. 1).

Круг интересов исследователей этого раздела фундаментальной науки – самые глубинные законы естествознания и мироздания, структура и свойства материи и антиматерии, физические законы фундаментальных взаимодействий. В качестве экспериментальных установок используются крупнейшие ускорители в России и за рубежом, а также космические частицы, ускоренные на самом большом в мире ускорителе – во Вселенной.



Рис. 1. Шкала линейных и энергетических масштабов процессов, представляющих интерес для фундаментальных исследований структуры и свойств материи

Так, исследования в области физики элементарных частиц, выполненные в последние годы, привели к открытию фундаментальных составляющих вещества – кварков и лептонов, переносчиков различных видов взаимодействий. Энерговыведение в химических реакциях имеет масштаб электронвольта. При делении ядер выделяется в миллион раз большая энергия, что и обуславливает эффективность атомной энергетики. Энергетический эквивалент массы кварков, а также элементарных частиц (адронов) в сотни раз превышает энергию, высвобождаемую в одном акте деления или синтеза ядер. В настоящее время ведутся исследования новых сил, связывающих кварки внутри адронов посредством обмена глюонами. Установлено, что природа этих сил принципиально отличается от природы сильных, электромагнитных и слабых взаимодействий. Существуют теории, что вакуум является метастабильным и возможен его переход в состояние с меньшей энергией. Такой переход будет сопровождаться громадным выделением энергии. Сейчас активно развиваются теории, в которых пространство имеет более трех измерений. В таких теориях возможно нарушение закона сохранения энергии в трехмерном пространстве. Наконец, в последнее время выяснилось, что Вселенная содержит только 5% обычной материи, а на 25% состоит из темной материи и на 70% из темной энергии. Природа темной материи и особенно темной энергии пока не ясна, и их исследование может повлечь за собой самые неожиданные открытия.

Последние данные показывают, что современное понимание Природы весьма несовершенно и дальнейшие исследования могут привести к радикальным изменениям наших представлений о ней. Поэтому необходима активизация исследований по направлениям, где существует хотя бы малая вероятность революционных открытий.

Для экспериментов разрабатываются и создаются новые детекторы частиц и излучений, обладающие сверхвысокой чувствительностью, пространственным и временным разрешением. Решение задач поиска новых источников энергии требует качественно нового уровня чувствительности и точности регистрации ионизирующего излучения, сопровождающего взаимодействия частиц высоких энергий, измерения энерговыведения в условиях высоких радиационных нагрузок, высокого пространственного и временного разрешения. Этим вызвана потребность разработки и создания новых детекторов, отвечающих новым, весьма жестким условиям.

Создаваемые новые детекторы ядерных излучений являются также важной составляющей современных ядерных энерготехнологий. Они могут быть использованы для обеспечения контроля и управления ядерными энергетическими установками, обеспечения радиационной и ядерной безопасности персонала, контроля состояния конструкционных материалов,

экологии окружающей среды. Современное развитие атомной энергетики требует разработки и создания новых детекторов ядерного излучения, обладающих повышенным быстродействием, радиационной стойкостью, координатной чувствительностью. На основе внедрения новых поколений детекторов будут разработаны методы нейтринной томографии для контроля пространственной неоднородности энерговыделения в активной зоне реактора.

Детекторы ядерного излучения являются также важной составляющей ядерных энерготехнологий. Они предназначены для обеспечения контроля и управления ядерными энергетическими установками, обеспечения радиационной и ядерной безопасности персонала, контроля состояния конструкционных материалов, экологического состояния окружающей среды (рис. 2).

Особое значение на нынешнем этапе приобретает моделирование энергетических процессов с использованием терафлопных вычислительных средств (суперЭВМ) и технологий параллельного программирования с использованием опыта специалистов, занимающихся фундаментальными исследованиями, в частности проблемой «невыветания цвета» в неа-

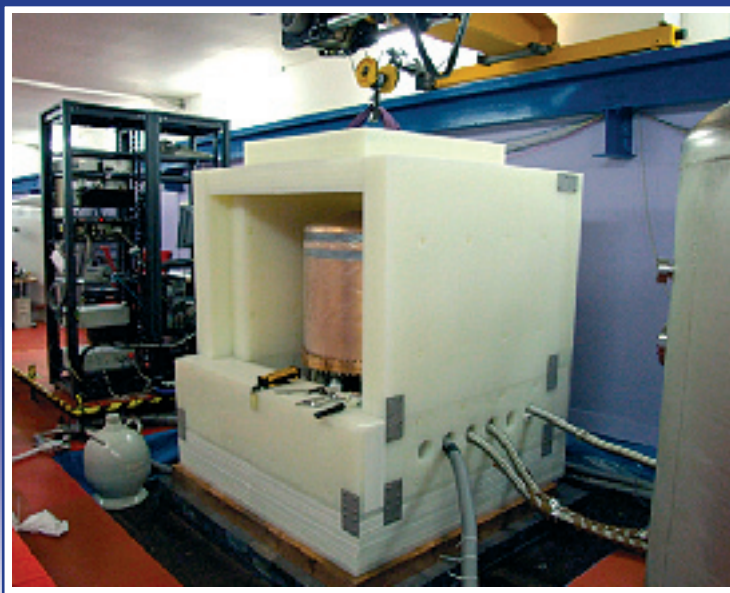


Рис. 2. Детектор WIMP ZEPLIN III в подземной низкофоновой лаборатории, с помощью которого возможно проведение мониторинга горячей зоны ядерных реакторов и инспекции нелегальной наработки плутония, разработанный специалистами ИТЭФ и созданный при их активном участии

белевых калибровочных теориях поля. Решение этой фундаментальной задачи позволит объяснить, почему составляющие элементарных частиц (адронов) – кварки и глюоны – не наблюдаются по отдельности и всегда находятся внутри адронов. Эта задача – одна из наиболее сложных и актуальных в современной теоретической физике, она входит в список так называемых «проблем тысячелетия» (http://www.claymath.org/Millennium_Prize_Problems/). Разработка аналитических подходов невозможна без проведения численных экспериментов, которые позволяют исследовать качественные свойства сильных взаимодействий и предоставлять, таким образом, рекомендации для развития теории. Вычисления проводятся на крупнейших суперкомпьютерах Японии и Германии, а так же на российском суперкомпьютере М-15000 (рис. 3).

При этом привлечение опыта использования терафлопных вычислительных средств (суперЭВМ) и технологий параллельного программирования коллективами исследователей позволяет обеспечить решение следующих актуальных для атомной энергетики задач:

- моделирование фундаментальных физических процессов экстремальной сложности в атомной энергетике;
- разработка инновационного наукоемкого программного обеспечения для параллельных вычислений на суперкомпьютерах;

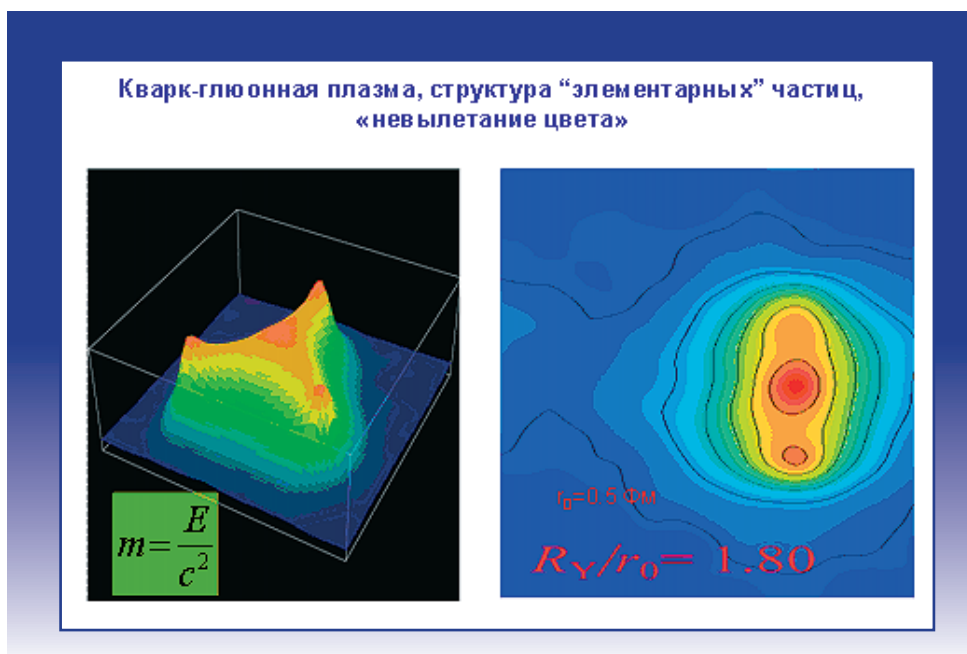


Рис. 3. Расчеты силовых полей внутри протона на российских суперкомпьютерах

- анализ и моделирование распределенных энергетических систем;
- анализ возможностей, ограничений, рисков, возникающих при размещении генерирующих мощностей, развитии национальных энергетических сетей и их интеграции в экспортные потоки;
- гармонизация роста и развития атомной энергетики как составляющей энергетического комплекса страны.

Консолидация усилий научных организаций Росатома, РАН и других ставит на новый уровень межотраслевое сотрудничество, которое нацеливает работу институтов различных ведомств на единую программу фундаментальных исследований, совершенствование и развитие экспериментальной базы, уникальных измерительных и расчетных методик. При этом предусматривается развитие современной вычислительной базы и программного обеспечения, создание единой базы данных по свойствам веществ и ядерных материалов в экстремальных условиях. Одновременно настоящий период характеризуется укреплением научного сотрудничества предприятий Росатома с институтами РАН, которые располагают высоким уровнем фундаментальных знаний в области экстремального состояния вещества.

Особое значение имеют научные и практические связи институтов с Федеральными ядерными центрами, которые выходят на новый уровень, характеризующийся многосторонним развитием и использованием экспериментальных установок, компьютерных программных комплексов, высоких технологий, ноу-хау как для гражданских целей, так и в интересах технологий двойного назначения.

Для решения стоящих перед отраслью задач в области ядерных вооружений, связанных с проблемой поддержания существующего арсенала и разработкой новых современных изделий, необходимо обеспечить более глубокий уровень понимания физических процессов, происходящих с оружейными материалами во всех фазах жизненного цикла ядерного оружия. Исследования экстремальных состояний вещества при интенсивном импульсном воздействии необходимы для получения новых знаний о физических процессах и свойствах материалов в условиях сверхвысоких давлений, плотностей и температур. Имея первостепенную фундаментальную ценность, эти знания применяются в интересах совершенствования свойств ядерно-оружейных материалов и материалов ядерно-энергетических установок, находящихся под действием мощных потоков ядерных излучений, для разработки новых технологий оборонного и ядерно-энергетического применения.

Для объединения усилий научных организаций Росатома, РАН и РНЦ «Курчатовский институт» в области физики высоких плотностей энергии в 2007 г. создан Центр по исследованию экстремальных энергетических

процессов (ЦИЭЭП), стратегической задачей которого является системная консолидация работ организаций различного ведомственного подчинения в области фундаментальных исследований, высоких технологий и в образовательной сфере (рис. 4). Центр сформировал единую комплексную целевую программу исследований свойств вещества в экстремальных состояниях в интересах ЯОК и Атомного энергопромышленного комплекса (АЭПК). Для успешной реализации программы на новый уровень будет поставлена системная и структурная организация государственной поддержки, эффективность координации работ и оперативный обмен данными.

Подготовка квалифицированных кадров для предприятий атомно-энергетического комплекса, способных решать сложные научно-технические задачи в интересах и АЭПК, является важнейшей миссией фундаментальной науки. Новые масштабные задачи, стоящие перед атомной отраслью, требуют решения проблемы расширенной подготовки кадров высшей квалификации. Для этого институты отрасли активно работают в направлении интеграции ориентированной отраслевой науки и ядерного

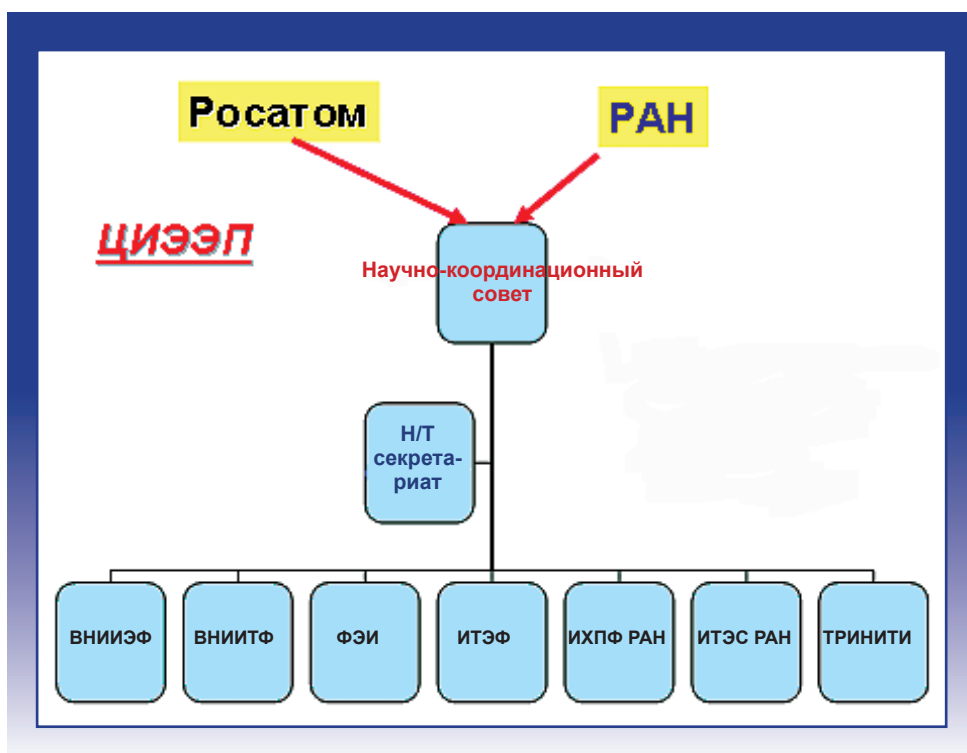


Рис. 4. Структура Центра исследований экстремальных энергетических процессов Росатом–РАН

образования – развитие среды генерации знаний. Для этого в отраслевых институтах открываются Центры науки и образования, кафедр и филиалы базовых кафедр ведущих профильных университетов, действуют аспирантура, спецсоветы по защита диссертаций, применяются инновационные образовательные технологии.

Однако решение новых масштабных задач отрасли, преодоление ситуации разрыва поколений, деградации научного, кадрового, технологического и промышленного потенциала отрасли, необходимость соответствия мировому уровню – все это требует решительных и безотлагательных мер по привлечению молодежи, ее обеспечению высокой оплатой труда, решению жилищных проблем.

Кадровая проблема не может быть решена без применения комплекса мер, начиная с использования инновационных образовательных технологий, через вовлечение в престижное научное сообщество для решения актуальных задач АЭПК, а также предложение привлекательного корпоративного социального пакета. Такая отраслевая программа должна быть разработана и запущена в кратчайшие сроки.

Международное сотрудничество является важнейшим фактором инновационного развития высоких технологий в отрасли и в России. Значительным для поступательного развития атомной отрасли является то обстоятельство, что фундаментальная наука усиливает свою интеграцию в международное пространство генерации ядерных знаний, в том числе путем участия в мегапроектах БАК, FAIR, ИТЭР и другое международное сотрудничество, и способствует:

- обеспечению инновационного развития российского ядерного энергетического комплекса;
- решению задачи создания научно-технологической базы атомной энергетики нового поколения;
- расширению сферы использования ядерных технологий;
- поиску перспективных способов использования энергии атомного ядра.

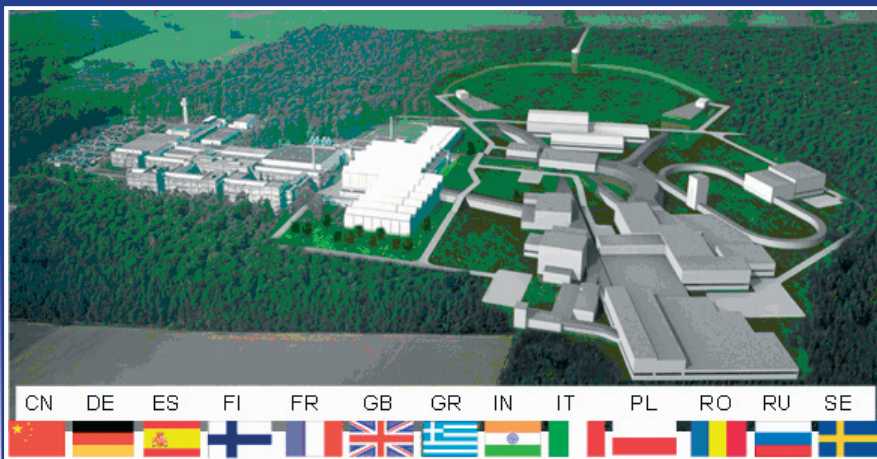
Основой эффективного участия в крупнейших мировых научных проектах служит большой научно-технический потенциал и международный авторитет отраслевых институтов фундаментального профиля.

Высокий уровень научных разработок и высоких технологий позволяет ученым Росатома играть активную роль в ряде крупнейших международных проектов, таких как БАК (ЦЕРН), ИТЭР, FAIR (Дармштадт), ILC (международный линейный e^+e^- -коллайдер), привлекая к ориентированным исследованиям новейшие знания и новейшие методы эксперимента.

Участие ученых и инженеров в крупных мегапроектах является необходимым условием поддержания на самом высоком уровне ориентиро-

ванной науки в России, уже сегодня позволяющим обеспечить адресное привлечение зарубежных инвестиций в отраслевой сектор высоких технологий. Кроме того, это позволяет использовать уникальную экспериментальную базу в интересах основных задач отрасли, а также служит локомотивом интеграций IT-технологий в информационную среду России. Проект FAIR (Дармштадт) представляет особый научный и практический интерес для большого числа институтов, предприятий и КБ Росатома, позволяя задействовать научный потенциал отраслевых институтов, привлечь инвестиции в высокие технологии, содействовать подготовке высококвалифицированных кадров для отрасли (рис. 5). При этом особенно востребованными являются сверхпроводящие технологии, развитые на предприятиях Росатома.

Большие ожидания связаны с исследованиями при самых высоких энергиях, в первую очередь на Большом адронном коллайдере в Европейской организации ядерных исследований, который будет запущен в работу 2008 г. и в создании которого активно участвуют специалисты Росатома. Значительный объём исследований в этой области проводится на крупнейших российских ускорительных комплексах У-70 в ГНЦ РФ «ИФВЭ» и тераваттный накопитель (ТВН) в ГНЦ РФ «ИТЭФ». Конечной целью этих работ является более глубокое понимание источников и природы ядерной энергии, исследование возможности управления радиоактивными превращениями, поиск новых источников энергии на кварк-глюонном и адронном уровне.



*Рис. 5. Натурный план ускорительного комплекса.
Международный мегапроект FAIR в Дармштадте, ФРГ*


Кроме того, находясь на передовом фронте научных исследований в мире и будучи интегрированной в мировое научное сообщество, фундаментальная наука способствует поддержанию престижа России как мировой научной державы, играет важнейшую роль в подготовке кадров высшей квалификации.

Заключение. Сегодня состояние блока фундаментальной науки в атомной отрасли характеризуется разрывом между тематическим разбросом, недостаточными уровнями интеграции и финансирования с одной стороны, и высоким потенциалом конкурентных преимуществ, которые могут и должны быть реализованы, – с другой. Так, с одной стороны, в отраслевом блоке фундаментальной науки имеется:

- высококвалифицированный кадровый состав, обеспечивающий наличие среды генерации знаний, компетенцию и уровень научно-технической экспертизы;
- уникальная стендовая база;
- международный престиж и высокая степень интеграции в международное научное пространство;
- высокая степень интеграции науки и образования.

С другой стороны, резкое падение на этапе выживания отрасли спроса на научно-техническую продукцию вызвало отсутствие масштабных задач, деградацию материальной базы эксперимента, снижение материального и социального уровня ученых и ИТР. Как следствие, резко сократился приток молодежи в отраслевую науку, наметился отток научных кадров из отрасли, в том числе за рубеж. Интересы научного сообщества стали переключаться на задачи, не связанные с актуальными проблемами АЭПК и ЯОК. В результате возник риск «разрыва поколений» и потери критических знаний. Хроническое недофинансирование научных институтов фундаментального блока является следствием распыления имеющихся средств.

Поэтому на современном этапе ответ на вызов времени, связанный с резким стартом развития отрасли, заключается в необходимости переключения интересов научного сообщества на решение актуальных задач отрасли, в обеспечении притока талантливой молодежи и квалифицированных научно-технических кадров (в том числе из-за рубежа), в оптимизации возрастного состава предприятий, сохранении и передачи критических знаний. Фундаментальная наука должна обеспечивать создание научных и технологических основ для современных задач широкомасштабного инновационного развития атомной энергетики, гарантируя ее эффективность, безопасность и конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.



Для устранения разрывов и минимизации рисков необходима системная консолидация блока фундаментальной науки атомной отрасли на основе выработанных четких критериев и расстановки приоритетов. Механизмы реализации подобных подходов известны в международном научном сообществе и применяются для концентрации творческих, кадровых и финансовых ресурсов на прорывных направлениях научного поиска. В этой связи неотложным шагом является создание Объединённого национального центра атомной науки и техники, главной задачей которого будет обеспечение ориентации научных исследований на конкретные результаты, востребованные ядерно-оружейным и ядерно-энергетическим комплексами отрасли, организация механизмов и оптимизация финансирования научных исследований в рамках реализации Федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения».

