



Экспериментальный зал  
реактора ПИК в Гатчине  
под Санкт-Петербургом

# НАЗАД





# В БУДУЩЕЕ

**Уникальные свойства синхротронного излучения применяются буквально во всех областях — от получения новых лекарств для лечения рака или туберкулеза до создания новых, особо прочных материалов. В рамках национального проекта в нашей стране в ближайшее время будут созданы или модернизированы сразу несколько синхротронов. Что это даст обычным гражданам, обсуждаем с Александром Евгеньевичем Благовым, доктором физико-математических наук, директором НИЦ «Курчатовский институт».**

**— Александр Евгеньевич, почему именно Курчатовский институт стал головной организацией в осуществлении синхротронных и нейтронных исследований на ближайшие восемь лет — до 2027 г.?**

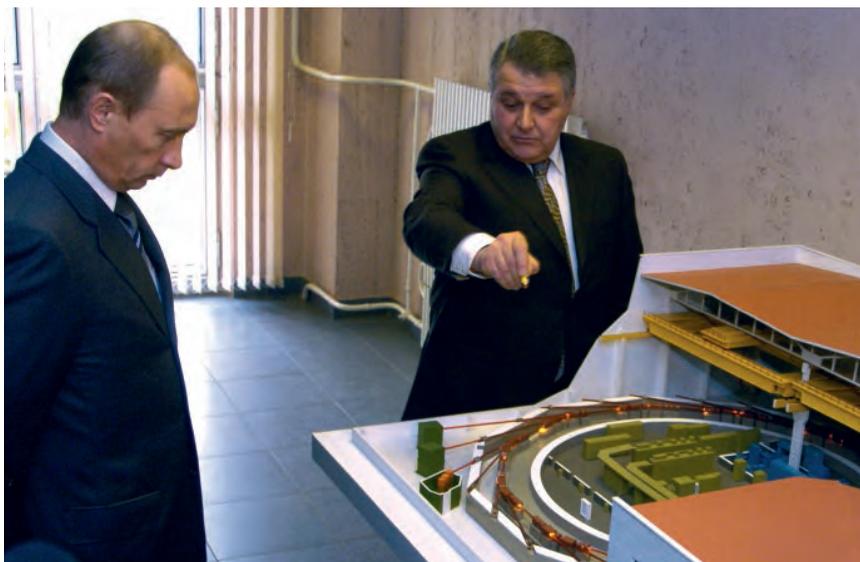
— Я бы не стал ограничиваться восемью годами, потому что на самом деле эта программа рассчитана на десятилетия вперед, и тот вклад, который она сделает в современную науку, технологии, производство, рассчитан на более длительный период. Речь идет о создании сетевой структуры, которая должна охватить всю страну новыми мегаустановками мирового класса и тем самым обеспечить пространственное развитие, поднять исследовательский уровень во многих областях знания на новую высоту, обеспечить конкурентоспособность российской науки и технологий, создаваемых с помощью этих установок.

Почему наш институт? Мы занимаемся синхротронным излучением не одно десятилетие. Когда-то секретная Лаборатория № 2 была создана для решения глобальных задач в рамках атомного проекта, главным итогом которого стало создание атомной бомбы. Затем в логике развития атомного проекта мы прошли большой путь, получили огромный опыт в создании и эксплуатации мегаустановок.

Сейчас в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» на всех его площадках работают целый ряд таких мегаустановок мирового класса. Если говорить о синхротронных и нейтронных направлениях, они представлены тремя мощнейшими установками: это единственный на территории в России и на всем

постсоветском пространстве специализированный источник синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов» и исследовательский реактор ИР-8, работающие на центральной площадке в Москве, а также высокопоточный, самый мощный в мире исследовательский реактор ПИК, расположенный в Гатчине.

Курчатовский синхротрон «КИСИ-Курчатов» в октябре 2019 г. отметил свое 20-летие. Его создателем и первым директором был М.В. Ковальчук. Крупнейший специалист в этой области, он был одним из первых, кто начал развивать синхротронные исследования у нас в стране. Кстати, ему вместе с коллегами была присуждена премия Правительства РФ в области науки за 2006 г. именно за создание научно-технического комплекса на базе специализированных источников синхротронного излучения в Курчатовском институте. За эти годы были сооружены новые станции, проведены тысячи исследований, накоплен колоссальный опыт. Сегодня в Курчатовском институте на базе синхротрона «КИСИ-Курчатов» и исследовательского реактора ИР-8 работает огромная научная инфраструктура — восемь крупных научных комплексов. Благодаря этим установкам мы имеем возможность проникнуть внутрь материи, разобрать по атомам структуру любого материала, видеть, как атомы располагаются в пространстве, какие у них возникли связи и как они влияют на свойства материалов. Обладая этими знаниями, даже незначительно изменяя структуру материала и атомный состав, можно эффективно и целенаправленно влиять на его свойства. Таким образом, мы можем не только



В.В. Путин на Курчатовском источнике синхротронного излучения «КИСИ-Курчатов»

понимать, как работают атомные и молекулярные механизмы, но и создавать новые материалы и изделия. Это основа нанотехнологий, нанобиотехнологий, новейшего материаловедения.

— **Знаю, что вы не ограничиваетесь собственными задачами.**

— Эти мегаустановки работают как центр коллективного пользования. Половину заявок на эксперимент на синхротроне и на реакторе ИР-8 мы получаем от внешних организаций. Идет сотрудничество, в первую очередь, конечно, с научными коллективами из разных городов, а также с производственными организациями, бизнес-компаниями. Можно сказать, что работа Курчатовского синхротрона все эти годы во многом помогла сохранить культуру синхротронных и нейтронных исследований у нас в стране, развивать методы исследований, приборы и технологии, создавать новую исследовательскую инфраструктуру, то есть сохранить темп и высокий уровень развития этой области.

Мы также активно участвуем в европейских научных проектах в этой области. Один из них — Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах (XFEL) в Германии. Это амбициозный, самый масштабный в мире проект создания рентгеновского лазера, где работает большая международная команда, в том числе задействовано большое количество научных организаций и ученых из России, которая занимает в этом европейском содружестве второе место после Германии по финансовому и интеллектуальному вкладу. Второй проект — Европейский источник синхротронного

излучения (ESRF) во Франции. Это один из самых современных источников синхротронного излучения в мире, самая передовая машина, которая недавно прошла модернизацию, причем наша страна, наши ученые активно участвовали в этом процессе.

— **Зачем нам это нужно?**

— Участие в этих проектах позволило чрезвычайно повысить наши компетенции и возможности. Более десяти российских научных организаций под руководством Курчатовского института участвовали в создании этих установок, были привлечены сотни наших ученых и инженеров.

— **Чем это оправдано?**

— Таким образом мы продолжаем на равных развивать самые передовые технологии во всем мире. Это очень важно. Есть хорошее английское выражение — *cutting edge* — то, что находится на острие ножа, на кромке лезвия. Мы все знаем, что наука сегодня интернациональна. Но научные результаты и технологии принадлежат каждой отдельной стране. Поэтому нам нужно иметь и своих специалистов, и свои мощные установки, которые будут направлены именно на развитие отечественной науки. Это одна из основных целей программы синхротронно-нейтронных исследований.

— **Что дает в прикладном смысле развитие таких исследований?**

— Простой пример. Наверняка многие видели в телевизионных передачах или в интернете изображения хаотического движения атомов. И физики прекрасно знают, что кристалл — это упорядоченная решетка, где атомы заняли свое строгое



пространственное положение, то есть образовали материал. Сейчас в эксперименте мы можем наблюдать начальное положение движения атомов из хаоса к кристаллу и конечное положение — сформировавшуюся объемную структуру. А что между этими двумя точками, как этот процесс произошел, мы не знаем. То есть, условно говоря, мы знаем счет матча, а как шла сама игра — не видели. Почему это так важно? Если мы увидим, как это происходит, то на уровне фундаментального строения материи поймем, как природа «привела» эти атомы из начального положения в конечное. А если мы поймем этот процесс, мы таким же природоподобным образом сможем сами создавать новые материалы, новую биологию, медицину, лекарства и т.д.

**— Научимся из хаоса создавать новые формы?**

— Да. Знание фундаментальных основ позволяет понимать, как работает все, что создано природой. А для чего конкретно это надо? Начну с самого важного для человека — здоровья.

Все, что происходит в организме человека, да и в любом живом организме, — это взаимодействие белков, биохимические реакции. Каждая клетка нашего организма — маленькая биофабрика, постоянно синтезирующая белки. И если эта функция нарушается, организм заболевает. У каждого белка, который состоит из десятков или сотен тысяч атомов, есть своя строгая молекулярная структура. Именно она задает все принципы работы данного белка в организме. Или же возьмем внешний раздражитель — вирус, представляющий собой огромную биологическую макромолекулу, задача

которой — проникнуть внутрь клетки, там размножиться, перейти в другую клетку (заразить) и т.д. Чтобы создать лекарство, нам надо заблокировать, например, проникновение вируса через мембрану внутрь клетки. А для этого надо понимать молекулярный механизм процесса, то есть знать структуру на уровне отдельных атомов и молекул. То же самое со многими другими белками, например бактериальными. Мы можем обезвредить палочку Коха — подобрать к одному из жизненно важных для нее белков такой препарат, который «выключит» процессы, важные для метаболизма бактерии. Если нам удалось это сделать, значит, мы создали лекарство.

**— Каким образом такое лекарство можно получить?**

— Сначала нужно изучить белок, понять, как он функционирует, — определить его пространственную структуру. Для этого нам нужен не просто белок, а кристалл белка. Предварительно необходимо выделить нужный белок, наработать его, очистить и закристаллизовать. Все эти операции мы выполняем у нас в лабораториях комплекса НБИКС-природоподобных технологий (нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных исследований). Далее кристалл белка исследуется на специализированной станции синхротрона, которая позволяет его просветить и увидеть его пространственную структуру. За этим следует процесс математической обработки, моделирования, анализа работы белковой молекулы на уровне атомных и молекулярных механизмов. И, наконец, мы последовательным образом приготавливаем препарат, который будет взаимодействовать с белком,

3



**Директор НИЦ «Курчатовский институт»**  
А.Е. Благов на станции  
НАНОФЭС «КИСИ-Курчатов»  
(1); большое накопительное  
кольцо Курчатовского  
синхротрона (2);  
высокопоточный  
исследовательский  
реактор ПИК в Гатчине (3)

блокируя или, наоборот, ускоряя его работу, то есть создаем лекарство. Но это все очень непросто. Чего только стоит сложнейший процесс кристаллизации! «Правильный» кристалл получается всего в одном случае из тысячи, остальное — брак.

**— А в природе эффективность образования кристаллов выше?**

— У природы на это времени гораздо больше — эволюция шла сотни миллионов лет. Но мы не можем так долго ждать и пытаемся детально понять эти процессы, разработать новые природоподобные технологии.

**— Удалось ли создать какое-то конкретное лекарство?**

— Ученые априори не могут обеспечить весь процесс создания и внедрения лекарств. Должны подключаться также и другие организации, в первую очередь медицинские компании и производства. Путь от структуры белка до самого медицинского препарата — примерно десять лет, тысячи исследований и решенных белковых структур с различными соединениями, клинические испытания. Я не зря назвал палочку Коха. Это одна из идей, над которой мы сейчас работаем. Надеюсь, скоро появится новый препарат, направленный на лечение туберкулеза.

**— Это очень актуальная проблема во всем мире и, в частности, в России, поскольку туберкулез, как известно, не собирается сдаваться.**

— Мы стараемся концентрироваться именно на таких актуальных направлениях. Второе направление, в котором мы сейчас активно работаем на одной из станций нашего синхротрона, — создание на поверхности жидкости аналога биологической

мембраны. С помощью синхротронного излучения мы исследуем, как различные вещества, в том числе белки и лекарства, проникают через клеточную мембрану. Сейчас мы проводим исследования достаточно известного противоопухолевого химиотерапевтического препарата — и обнаружили очень интересную закономерность. Оказываются, разные типы мембран по-разному задействованы в этом процессе. В одни мембраны лекарство проникает без проблем, в другие — нет. Это значит, что мы можем задать избирательный характер воздействия этого препарата на клетку, то есть существенно снизить пагубные реакции препаратов химиотерапии на организм.

**— Тоже чрезвычайно важное направление, поскольку известно, что часто люди умирают не от рака, а от побочных реакций, вызванных химиотерапией.**

— Именно. Тем ценнее возможность, проводя такую коррекцию, скорее победить болезнь.

Еще одно важное направление наших исследований — микро- и наноэлектроника. Мы сейчас достигли такого размера активного (рабочего) элемента для микро- и наноэлектроники, что нужна очень высокая степень увеличения и детализации.

У нас есть особая электронная лаборатория — фактически небольшая фабрика для производства микро- и наноэлектронных устройств, которая позволяет не только создавать практически любые электронные микросхемы, но и отрабатывать технологии их создания. Расположена она непосредственно на территории экспериментального зала Курчатовского синхротрона в специальной чистой комнате высокого (четвертого)



класса чистоты. Туда выведена синхротронная станция, которая позволяет в режиме реального времени видеть, как создается микросхема. Изначально любая микросхема — это многослойная структура, напоминающая сэндвич, состоящая из нескольких слоев металла, диэлектрика и полупроводника толщиной около нанометра. Эти слои представляют собой рабочую область. Путем литографии из этой структуры формируются островки, представляющие собой нанотранзисторы. Готовая микросхема с миллионами таких нанотранзисторов вполне может уместиться на человеческом ногте. Она выполняет функцию процессора, памяти, СВЧ-устройства, и это уже далеко не фантастика.

— **Наверное, непросто такое создать?**

— Крайне непросто. Вроде бы у нас существует понимание всех этапов: как создать переход, как напылить один кристалл на другой, как сделать сверхтонкий металлический слой на поверхности полученного кристалла. Но в процессе формирования структуры происходит «размазывание» границы между слоями, один материал проникает в другой, и все это ведет к тому, что микросхема не работает. Значит, нам нужно контролировать этот технологический процесс, иметь обратную связь. И здесь, конечно, очень важно применение синхротронного излучения. Только высокая яркость синхротронного пучка и чувствительность к атомной структуре, буквально к отдельным атомам, может помочь решить эти проблемы. Никакой лабораторный микроскоп, никакие рентгеновские приборы не позволяют достичь такого качества картинки, как синхротрон.

— **А какие у вас планы на будущее?**

— Наши планы и перспективы связаны с Указом Президента Российской Федерации «О мерах по развитию синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры». В рамках этого указа мы и должны создать одноименную программу. Курчатовский институт — головная организация, которая осуществляет экспертную, методическую поддержку, координацию с международными проектами.

Развитие исследовательской инфраструктуры подразумевает создание трех новых источников синхротронного излучения и модернизацию действующего. Курчатовский синхротронный источник будет значительно модернизирован до следующего, третьего поколения. Будут заменены практически все системы линейного и кольцевого ускорителя.

На Дальнем Востоке на острове Русский будет создан источник синхротронного излучения (по типу Курчатовского синхротрона), который, несомненно, будет способствовать научно-технологическому развитию этого региона.

В Новосибирской области будет создан новый источник синхротронного излучения четвертого поколения. Это относительно небольшой ускоритель с энергией электронов 3 ГэВ. Периметр основного накопительного кольца — чуть меньше 500 м. Он позволит создать около 30 станций экспериментальных станций.

Далее — флагманский источник, самый большой, не имеющий аналогов в мире. Мы назвали этот проект «Сила» (синхротрон-лазер). Проект разрабатывается Курчатовским



**Крупнейший в России** действующий ускоритель протонов У-70 (1); территория Института физики высоких энергий им. А.А. Логунова НИЦ «Курчатовский институт» в Протвине (2); исследовательский реактор ИР-8 Курчатовского института (3)

институтом. С помощью исследований на этой установке мы сможем совершить колоссальный прорыв в био- и нанотехнологиях, научном материаловедении. Идею этого проекта поддержали японские партнеры из синхротронного центра *SPRING-8*, европейского синхротронного центра *ESRF* в Гренобле и германского синхротронного центра *DESY* в Гамбурге. Этот источник представляет собой накопительное кольцо и рентгеновский лазер на свободных электронах, созданные в общей инфраструктуре и базирующиеся на едином линейном ускорителе с энергией электронов 6 ГэВ. Основное накопительное кольцо будет иметь периметр более 1 км, на нем будут установлены 40 экспериментальных станций, пять экспериментальных станций будет создано для рентгеновского лазера.

— **Наверное, в Протвине?**

— Да. Сейчас там действует самый высокоэнергетичный в России протонный ускоритель У-70. Есть все необходимые условия: уникальный опыт, широкие возможности энергетического подключения, близость к другим научным центрам, подходящая геология местности.

— **Мы там были — и почти час обходили вокруг эту установку. Идешь, как по таинственному городу, какие-то углубления, помещения...**

— В Протвине есть еще 20-километровый тоннель под землей — проект советского *CERN*, который в 1990-х гг. был готов

практически на 70%, причем он был создан усилиями и возможностями собственного производства Института физики высоких энергий. К сожалению, этот масштабный пионерский проект был заморожен тогда в связи с распадом СССР. При этом благодаря созданию Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» удалось сохранить работоспособным сам институт в Протвине, мощное опытное производство, которое после некоторых реноваций вполне способно справиться с современными амбициозными задачами.

— **Это вдохновляет.**

— Вместе с уникальным синхротроном «Сила» в рамках программы в Протвине будет создан прототип так называемого *Spallation Source* — нового безреакторного источника нейтронов. Сейчас мы для получения нейтронных пучков используем ядерный реактор. Здесь же для получения нейтронов будет использован упомянутый ускоритель протонов У-70.

— **Когда вы говорите обо всех этих проектах, надо понимать, что для их осуществления требуется особая инфраструктура. Удастся ли ее создать?**

— Конечно. Мы работаем над ее созданием, и во многих местах она уже есть. Это относится к тому же Протвину. Хорошими примерами служат действующая инфраструктура центральной площадки Курчатовского института, исследовательская инфраструктура, создаваемая вокруг реактора ПИК в Гатчине под Санкт-Петербургом. У него, кстати, тоже непростая история. Он создавался еще в Советском Союзе, был заморожен после аварии на ЧАЭС. Но в 2010 г., когда Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова вошел в состав НИЦ «Курчатовский институт», было принято важнейшее решение о продолжении и развитии этого проекта. Сейчас мы фактически прошли стадию так называемого физического пуска и начали поэтапно технически сложную, трудоемкую процедуру энергетического пуска реактора с соблюдением всех самых строгих требований безопасности.

Так что мы имеем все основания рассчитывать, что в рамках программы развития синхротронных и нейтронных исследований в нашей стране в ближайшие десять лет будет создана самая современная распределенная сеть мегаустановок — уникальная научная инфраструктура для прорывов во многих областях науки будущего. ■

**Беседовала Наталия Лескова**