

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Его звали  
**А.П.**

ЭНЕРГЕТИКА

Ловушка  
для Солнца

ТЕХНОЛОГИИ

Курчатовский  
синтез

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC  
AMERICAN

# В мире науки

[www.scientificrussia.ru](http://www.scientificrussia.ru)

№4 2013

## Из прошлого в будущее

12+

СПЕЦВЫПУСК



# 70 лет

## КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

# СОДЕРЖАНИЕ

## Спецвыпуск 2013

### История

#### ПРИРУЧИТЬ АТОМ

Трудно переоценить уникальность Курчатовского института, его роль в отечественной и мировой науке. Организованный для создания советской атомной бомбы, Курчатовский институт сыграл ключевую роль в обеспечении безопасности страны и развитии важнейших стратегических направлений, стал родоначальником множества научных направлений практически по всему спектру современной науки

### История

#### ТИТАН АТОМНОГО ВЕКА

**Игорь Курчатов**, академик АН СССР, трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Сталинских премий СССР, главный научный руководитель атомной проблемы в СССР, один из основоположников ядерной энергетики

### История

#### ЕГО ЗВАЛИ А.П.

Академик АН СССР **Анатолий Александров**, трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Сталинских премий СССР, основатель атомного флота СССР и эпохи «мирного атома»

### История

#### ИСТОРИЯ КУРЧАТОВСКОГО ИНСТИТУТА В ЛИЦАХ

##### Как это было

#### ВОСПОМИНАНИЯ КУРЧАТОВЦЕВ

##### Ступени успеха

#### ПЕРВЫМ ДЕЛОМ – ТЕХНОЛОГИИ, ПУБЛИКАЦИИ — ПОТОМ

О роли Курчатовского института в истории отечественной науки, о его настоящем и будущем рассказывает академик РАН, Герой Социалистического Труда, президент НИЦ «Курчатовский институт» **Евгений Велихов**

### Меганаука

#### 6 СКОЛЬКО ЛЕТ МЕГАНАУКЕ? 46

Директор НИЦ «Курчатовский институт» член-корреспондент РАН **Михаил Ковальчук** рассказывает, как открытие Вильгельма Конрада Рентгена, получившего первую в истории Нобелевскую премию по физике, столетие назад стало началом сложного развития меганауки

### Меганаука

#### 14 ГЛАВНЫЙ ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО СВЕТА 50

О Курчатовском источнике синхротронного излучения (КИСИ) — единственном в СНГ специализированном источнике СИ

### Меганаука

#### 20 ИТЕРАЦИЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ 54

Об истории, применении и перспективах развития прикладной сверхпроводимости

### Меганаука

#### 20 ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА КАК ОБРАЗ ЖИЗНИ 58

О прошлом, настоящем и будущем фундаментальной науки в Курчатовском институте

### Энергетика

#### 26 ЛОВУШКА ДЛЯ СОЛНЦА 62

О Курчатовском институте как родоначальнике термоядерной энергетики и ее перспективах

#### 34 Физика высоких энергий 66

Исследования нейтрино — традиционная область для Курчатовского института. О нынешних и будущих проектах в этой области

### Энергетика

#### 36 КУРЧАТОВСКИЙ СИНТЕЗ 70

О перспективах ядерной энергетики

### Энергетика

#### 75 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ XXI ВЕКА 101

Реакторное материаловедение — от истоков до нанотехнологий

### Конвергентные науки

#### 78 ОТ АТОМНОГО ПРОЕКТА ДО КОНВЕРГЕНЦИИ 102

**Михаил Ковальчук** рассказывает, какие научно-технологические прорывы в современной науке «выросли» из атомного проекта

### Конвергентные науки

#### 86 ОТ ФИЗИКИ ДО ЛИРИКИ 106

О реализации на практике НБИКС-технологий в Курчатовском институте

### Нанотехнологии

#### 92 НИКАКОЙ МИСТИКИ, ТОЛЬКО НАУКА 110

О развитии прикладных нанотехнологий в Курчатовском НБИКС-центре

### Биомедицина

#### 94 МЫ НЕ ВОЛШЕБНИКИ, МЫ ТОЛЬКО УЧИМСЯ! 112

Новое материаловедение в Курчатовском НБИКС-центре

### Генетика

#### 96 СИМФОНИЯ ЖИЗНИ ИЗ ЧЕТЫРЕХ НОТ 116

Лаборатория геномики Курчатовского НБИКС-центра — единственная научная организация в России, где секвенировано уже более 20 геномов

### Медицина

#### 98 ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА 122

Последние годы отмечены ренессансом ядерной медицины и лучевой терапии — важнейших направлений, выросших из атомной отрасли

### Физика

#### 75 МНОГОЛИКИЙ ЛАЗЕР 101

О широком спектре возможностей лазерных технологий

### Биотехнологии

#### 78 КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЖИЗНИ 102

Белковая кристаллография — на стыке науки и искусства

### Информатика

#### 86 300 ТРИЛЛИОНОВ В СЕКУНДУ 106

О задачах и проблемах современных суперкомпьютеров

### Когнитивные науки

#### 92 КОНВЕРГЕНЦИЯ СОЗНАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС 110

Успешное развитие нашей цивилизации возможно лишь при условии плодотворного сотрудничества фундаментальной и прикладной составляющих в когнитивной науке

### Нейронауки

#### 94 КОДЫ ВАВИЛОНСКОЙ БИБЛИОТЕКИ МОЗГА 112

О нейрофизиологических исследованиях в Курчатовском НБИКС-центре

#### 96 Конвергентные науки 116

#### 96 СОЦИОГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ В КУРЧАТОВСКОМ НБИКС-ЦЕНТРЕ 116

Очевидно, что существующее деление на многочисленные науки создано самим человеком для более простой и удобной систематизации получаемых им научных знаний

### Молодые ученые

#### 98 ФАБРИКА ДЛЯ УЧЕНЫХ 122

Молодые ученые — будущее Курчатовского института

ежемесячный научно-информационный журнал

**SCIENTIFIC AMERICAN** **В мире науки**



**Основатель и первый главный редактор журнала «В мире науки/Scientific American», профессор СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ КАПИЦА**

**SCIENTIFIC AMERICAN**

ESTABLISHED 1845  
**Senior Vice President and Editor in Chief:** Mariette DiChristina  
**Executive Editor:** Fred Guterl  
**Managing Editor:** Ricki L. Rusting  
**Managing Editor, Online:** Philip M. Yam  
**Design Director:** Michael Mrak  
**News Editor:** Robin Lloyd  
**Senior Editors:** Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Gary Stix, Kate Wong  
**Associate Editors:** David Biello, Larry Greenemeier, Katherine Harmon, Ferris Jabr, John Matson  
**Podcast Editor:** Steve Mirsky  
**Contributing editors:** Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna, John Rennie, Sarah Simpson  
**Art director:** Ian Brown  
**President:** Steven Inchoombe  
**Executive Vice President:** Michael Florek  
**Vice President and Associate Publisher, Marketing and Business Development:** Michael Voss  
**Vice President, Digital Solutions:** Wendy Elman  
**Adviser, Publishing and Business Development:** Bruce Brandfon  
 © 2013 by Scientific American, Inc.

**НАШИ ПАРТНЕРЫ:**



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**

О Ч Е В И Д Н О Е



Н Е В Е Р О Я Т Н О Е

**Учредитель и издатель:** Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»  
**Главный редактор:** В.Е. Фортос  
**Первый заместитель главного редактора:** А.Л. Асеев  
**Заместитель главного редактора:** О.И. Стрельцова  
**Исполнительный директор:** П.Н. Антонов  
**Ответственный редактор:** М.А. Янушкевич  
**Литературный редактор:** О.Л. Беленицкая  
**Обозреватель:** В.Ю. Чумаков  
**Администратор редакции:** Е.Ю. Емельянова

**От НИЦ «Курчатовский институт»:**  
**Главный редактор спецвыпуска:** Директор НИЦ «Курчатовский институт», член-корреспондент РАН М.В. Ковальчук  
**Заместитель главного редактора спецвыпуска:** Е.Б. Яцишина  
**Координатор спецвыпуска:** Н.Ю. Стрельникова  
**Над номером работали:** А.Н. Агеев, М.П. Афанасьева, Н.Л. Лескова, Ю.Е. Макаров, Д.Н. Назаров, О.С. Пенкина, А.Е. Пименова, Д.М. Ромендик, А.Ф. Торгашев, В.П. Фридман, В.Ю. Чумаков, А.А. Шаталова

**Верстка:** А.Р. Гукасян  
**Дизайнер:** Я.В. Крутий  
**Корректура:** Я.Т. Лебедева

**Адрес редакции:** Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;  
 Тел./факс: (495) 939-42-66; e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

**Отпечатано:** В ЗАО «ПК «ЭКСТРА М», 143400, Московская область, Красногорский р-н, п/о «Красногорск-5», а/м «Балтия», 23 км, полиграфический комплекс  
 Заказ №04 13-03-00296

© В МИРЕ НАУКИ. Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати. Свидетельство ПИ №ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

**Тираж:** 12 500 экземпляров Цена договорная.

**Президент координационного совета НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:** Ю.С. Осипов  
**Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:** С.В. Попов  
**Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:** В.К. Рыбникова  
**Финансовый директор:** Л.И. Гапоненко  
**Главный бухгалтер:** Н.В. Гуртиева

**Научные консультанты:**  
 Президент НИЦ «Курчатовский институт» академик РАН Е.П. Велихов, член-корр. РАН К.В. Анохин, канд. физ.-мат. наук В.Е. Велихов, член-корр. РАН Б.М. Величковский, д-р техн. наук Б.А. Гурович, канд. физ.-мат. наук М.Л. Занавескин, д-р физ.-мат. наук, профессор В.И. Ильгисонис, д-р физ.-мат. наук, профессор П.К. Кашкаров, член-корр. РАН В.В. Квардаков, член-корр. РАН А.А. Коршенинников, канд. хим. наук Н.С. Марченко, член-корр. РАН О.С. Нарайкин, академик РАН В.Я. Панченко, член-корр. РАН В.О. Попов, д-р физ.-мат. наук, профессор М.Д. Скорохватов, канд. техн. наук В.С. Устинов, д-р хим. наук Б.Б. Чайванов, профессор С.Н. Чвалун, д-р техн. наук, профессор А.К. Шиков, д-р техн. наук, профессор Я.И. Штромбах

Авторские права НП «Международное партнерство распространения научных знаний». © Все права защищены. Некоторые из материалов данного номера были ранее опубликованы Scientific American или его аффилированными лицами и используются по лицензии Scientific American. Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

**Уважаемые коллеги, дорогие друзья!**

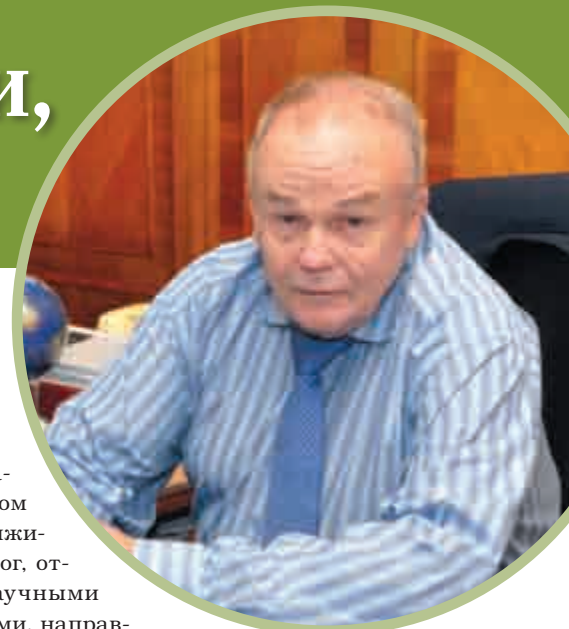
Рады приветствовать вас на страницах журнала «В мире науки» в специальном выпуске, посвященном 70-летию всемирно известного Курчатовского института. Мы постарались объять необъятное — рассказать на нескольких десятках страниц о нашей истории, трудной и интересной, о наших великих предшественниках, научная работа которых стала подвигом, потому что создала глубинные основы обороноспособности нашей страны на долгие десятилетия, сохранила ее независимость и дала столь мощный старт развитию множества новых научных направлений, школ, технологий, которые до сих пор составляют гордость нашей и мировой науки. Есть устойчивое выражение — «флагман советской, российской науки». К нам он применим и в переносном, и в прямом смысле, потому что мы всегда шли впереди, развивая и генерируя из атомного проекта атомную и термоядерную энергетику, атомный ледокольный и подводный флот, ядерную медицину, сверхпроводимость, управляемый термоядерный синтез, информационные и конвергентные технологии и многое другое, о чем вы сможете узнать на страницах этого выпуска. Разумеется, были ошибки, просчеты, невосполнимые потери, прежде всего человеческие. Было время, когда казалось, что российской науке никогда не оправиться от последствий забвения и лихолетья, растаскивания технического и интеллектуального потенциала. Но история сделала очередной виток — все течет, все меняется, по словам отца атомистической теории древнегреческого натурфилософа Гераклита. Изменились политическая система, экономика, общество.



Директор НИЦ «Курчатовский институт» М.В. Ковальчук

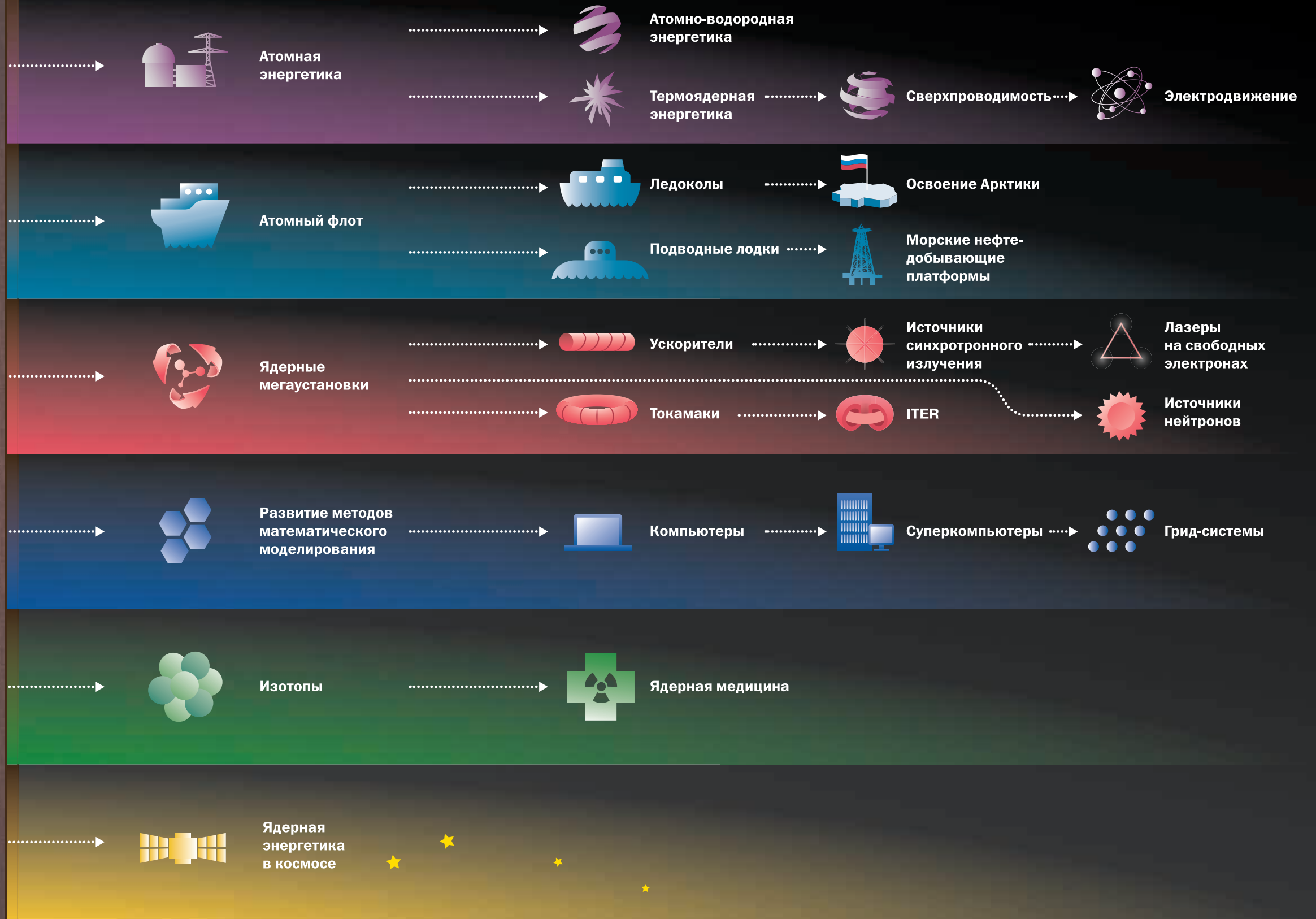
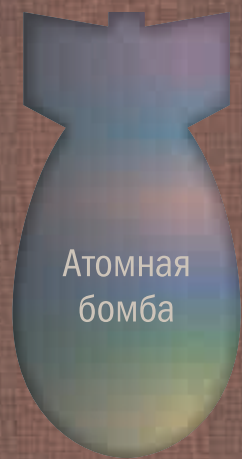
Развивалась новая парадигма наук, технологический уклад. После полугода десятков лет «разброда и шатаний», утраты целей и идеалов наша страна начала возрождаться. Не сразу, но по мере решения самых острых, жизненно важных проблем руководство России начало возрождать и отечественную науку.

Курчатовский институт также не обошел стороной период безвременья — держались на старом потенциале, выжили кто как мог, отдельными научными подразделениями, направлениями, подобно тому как полк, выходя из окружения, делится на роты и взводы. Но наши стратегический запас и потенциал были столь велики, настолько глубинные научные традиции и школы были заложены нашими предшественниками, что это спасло Курчатовский институт и вывело на новый уровень развития. Нам не только удалось выжить, выйти из этого сложнейшего периода с «допустимыми потерями», но и начать принципиально новый этап жизни Курчатовского института. Сегодня Курчатовский институт не узнать: построены новые корпуса, обновляется экспериментальная база, вновь в лаборатории идет поток молодых ученых, аспирантов. Мы продолжаем развивать наши традиционные приоритеты — ядерную энергетику и все связанные с ней технологии. Но кроме того, в рамках нового технологического уклада, создания новых природоподобных технологий и систем путем научно-технологической конвергенции мы впервые в России начали развивать науку, технологии, энергетику будущего, основанные на нано-, био-, инфо-, когнитивных и социогуманитарных (НБИКС) науках и технологиях. Впервые в России (да и в мире полных аналогов нет) мы создали Курчатовский центр НБИКС-технологий. За короткое время нам удалось сформировать базу для новой науки — инфраструктурную, идеологическую и кадровую. Работать в Курчатовском НБИКС-центре становится престижным и привлекательным для известных российских и зарубежных ученых, которые не могут скрыть своего удивления масштабами и скоростью происходящих перемен во время посещения нашего центра. Наша главная цель на страницах этого издания состояла в том, чтобы показать: обновленный Курчатовский институт живет активной и интересной научной жизнью, развивается, строит настоящее и будущее российской науки. Мы по-прежнему выступаем флагманом российской науки и с гордостью носим имя своего великого основателя.



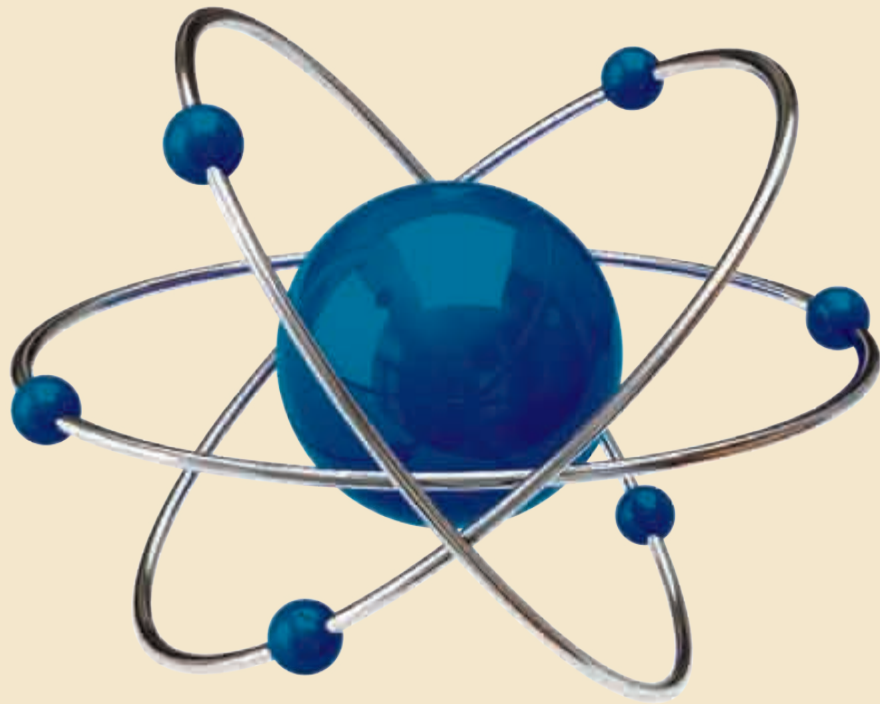
Президент НИЦ «Курчатовский институт» Е.П. Велихов

# Атомный проект



**Научно-технологические прорывы атомного проекта**

# ПРИРУЧИТЬ



# АТОМ

*О том, что все в мире состоит из атомов — химически неделимых частиц природных элементов, — догадывались еще древние, однако прошли столетия, прежде чем ученым удалось экспериментально подтвердить их существование*

С открытием Вильгельмом Рентгеном рентгеновских лучей в 1895 г. и явления дифракции рентгеновского излучения в 1912 г. Максом фон Лауэ, Вальтером Фридрихом и Паулем Книппингом человек проник внутрь вещества, увидел его трехмерную структуру, атомы и молекулы. После открытия Анри Беккерелем в 1896 г. явления радиоактивности последовала настоящая научная революция. Физика элементарных частиц, физика ускорителей, ядерная физика определили лицо цивилизации в XX в.

Открытие в 1938 г. немецкими учеными Отто Ганом и Фрицем Штрассманом деления ядер урана с большим выходом энергии при захвате ими нейтронов показало, что по удельному энергосодержанию ядерное топливо в миллион раз эффективнее любого органического. Так ученые поняли: уран может быть как перспективным топливом, так и супервзрывчаткой.

## Самый могучий источник силы

Центральной фигурой в комплексном изучении радиоактивности в России стал Владимир Иванович Вернадский, который уже в 1908 г. добился включения этих работ в число приоритетных тем академии наук. В 1922 г. по инициативе и под руководством В.И. Вернадского был создан Государственный радиевый институт (ГРИ), куда вошли все имевшиеся к тому времени в Петрограде радиологические учреждения.

В 1930-х гг. целый ряд советских институтов добились значительных результатов в изучении реакции деления урана и перспектив использования внутриядерной энергии: Физико-технический институт во главе с академиком А.Ф. Иоффе, Институт химической физики, возглавляемый молодым Н.Н. Семеновым, Радиевый институт под руководством академика В.Г. Хлопина, ФИАН с С.И. Вавиловым во главе,

в Харькове — ХФТИ с ядерными лабораториями К.Д. Синельникова, А.К. Вальтера и А.И. Лейпунского.

Научная школа А.Ф. Иоффе — явление уникальное в советской, да и мировой науке. Среди его знаменитых впоследствии учеников был и молодой Игорь Васильевич Курчатов, который пришел в ЛФТИ в 1925 г. В начале 1930-х гг. здесь была создана «особая группа по ядру», которую затем преобразовали в отдел ядерной физики, руководителем которого стал Игорь Васильевич. В 1937 г. в Радиевом институте Л.В. Мысовским и И.В. Курчатовым был запущен первый в Европе циклотрон, там же в 1940 г. К.А. Петражом и Г.Н. Флеровым было открыто явление спонтанного деления урана. Во второй половине 1930-х гг. в ЛФТИ начали разрабатывать и строить большой циклотрон на 10 МэВ, но начавшаяся война остановила эти работы.

*«Недалеко то время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник сил, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет... Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать ту силу, которая неизбежно должна дать ему наука?»*

*Владимир Иванович Вернадский, 1922 г.*

## Секретная записка

30 июня 1940 г. в Академии наук СССР была создана урановая комиссия под председательством В.Г. Хлопина с академиками В.И. Вернадским и А.Ф. Иоффе в качестве его заместителей. Среди ее членов были академики П.Л. Капица и А.Е. Ферсман, а также И.В. Курчатов, Ю.Б. Харитон и др. Но началом советского атомного проекта принято считать 28 сентября 1942 г., когда Государственный комитет обороны (ГОКО) признал необходимым возобновить прерванные началом войны «работы по исследованию возможности овладения внутриядерной энергией». Через семь лет — 29 августа 1949 г. — была успешно испытана первая советская атомная бомба.

За эти семь лет было сделано невозможное. То, что позже стало легендой, как и люди, которые эту легенду создавали. Но вернемся к самому началу советского атомного проекта.

Прежде всего надо было подобрать научного руководителя проекта. Иоффе настаивал на назначении 39-летнего Курчатова — в нем он был уверен. И не ошибся. В октябре 1942 г. Игорь Курчатов был вызван в Москву для

**!** Из воспоминаний Ивана Ларина, больше 40 лет проработавшего в Отделе ядерных реакторов Института атомной энергии (ИАЭ): «Для размещения своего секретного заведения Курчатов выбрал участок земли между подмосковными селами Хорошевым и Щукиным, что в районе Покровского-Стрешнева. Среди большого картофельного поля площадью более 100 гектаров стояло несколько зданий Всесоюзного института экспериментальной медицины. В одном из них, большом трехэтажном корпусе, разместились первые научные сотрудники лаборатории. В нем они поначалу и жили, в том числе Курчатов с супругой, и работали. Постепенно складывался коллектив».

ознакомления с материалами разведки. В своей первой записке по «проблеме урана как государственной программе» (от 27 ноября 1942 г.), адресованной заместителю председателя ГКО СССР В.М. Молотову, ученый говорил о нашем отставании от Англии и США и, как следствие, о необходимости «широко развернуть в СССР работы по проблеме урана». Государственный комитет обороны СССР принял постановление № 2872 от 11 февраля 1943 г., в котором были сформулированы задачи по решению урановой проблемы — разработке и созданию ядерного оружия в нашей стране. Руководителем атомного проекта от правительства был назначен В.М. Молотов, которого спустя неполных два года сменил Л.П. Берия. Ответственным за создание урановой бомбы стал Игорь Васильевич Курчатов. 12 апреля 1943 г. вице-президент Академии наук СССР академик А.А. Байков подписал распоряжение о создании под руководством И.В. Курчатова Лаборатории № 2 — будущего Курчатовского института.

## Дело государственной важности

Самые первые работы советского атомного проекта начались в нескольких комнатах Сейсмологического института АН СССР в Пыжевском переулке. По мере расширения работ встал вопрос о новом месте для лаборатории.

Курчатову были предоставлены широкие полномочия по привлечению необходимых ему институтов, конструкторских бюро и заводов, отзыву специалистов из действующей армии. Ю.Б. Харитон, Я.Б. Зельдович, Г.Н. Флеров, И.К. Кикоин, А.И. Алиханов — им предстояло конкурировать с лучшими физиками мира, собранными в США для работы над Манхэттенским проектом. Советский Союз, значительная часть европейской части которого была оккупирована, в это время отдавал все силы и средства, неся тяжелые потери, на фронтах Великой Отечественной войны. К концу 1944 г. в Лаборатории № 2 общее число сотрудников, включая ученых, лаборантов, водителей автомашин и кочевара, составляло около 100 человек.

## Вопрос выбора

Получить из урана ядерную взрывчатку можно было либо в результате выделения изотопа урана-235, либо путем наработки в специальных ядерных реакторах не существующего в природе плутония. Ни той, ни другой технологии в СССР не было, их предстояло создать и отработать. Что касается ядерного реактора, он мог

### НАУЧНЫЕ РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ № 2 РАЗВИВАЛИСЬ ПО СЛЕДУЮЩИМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

- ✓ создание ядерного реактора на естественном уране и обычной воде (Г.Н. Флеров, В.А. Давиденко);
- ✓ создание ядерного реактора на естественном уране и графите (И.В. Курчатов, И.С. Панасюк);
- ✓ создание ядерного реактора на естественном уране и тяжелой воде (А.И. Алиханов, С.Я. Никитин);
- ✓ создание циклотрона (И.В. Курчатов, Л.М. Неменов);
- ✓ разделение изотопов естественного урана (И.К. Кикоин, Л.А. Арцимович);
- ✓ развитие химии трансурановых элементов и ее практическое использование (Б.В. Курчатов);
- ✓ физические исследования, направленные на создание урановой промышленности по выпуску оптимальных ТВЭЛ для ядерных реакторов (И.В. Курчатов, И.С. Панасюк);
- ✓ физико-химические исследования, направленные на создание промышленности по выпуску оптимальных графитовых блоков для ядерных реакторов (И.В. Курчатов, И.С. Панасюк, Н.Ф. Правдюк, В.В. Гончаров);
- ✓ физико-химические исследования, направленные на создание промышленности для получения тяжелой воды для ядерных реакторов (А.И. Алиханов, Р.Л. Сердюк, Д.М. Самойлович, М.И. Корнфельд);
- ✓ измерение ядерных констант и нейтронная физика (П.Е. Спивак, И.С. Панасюк, С.А. Баранов, М.И. Певзнер).

быть с графитовым или с тяжеловодным замедлителем. Производство тяжелой воды — процесс чрезвычайно энергоемкий, а получение реакторного сверхчистого графита — очень трудоемкое дело. Академик А.И. Алиханов, начальник Теплотехнической лаборатории, настаивал на тяжеловодном реакторе. Курчатов же считал по-другому и добился того, что вариант с уран-графитовым котлом приняли за основной.

В Лаборатории № 2 развивали и несколько методов разделения изотопов урана: газодиффузионный, термодиффузионный и электромагнитный.

Уже в 1944 г. в Лаборатории № 2 был построен и введен в действие циклотрон, позволивший, облучая нейтронами уран, накопить индикаторные количества плутония — основного металла для ядерного заряда. В начале 1946 г. в Лаборатории № 2 сформировались три отдела. В задачи отдела «К» под руководством И.В. Курчатова входили разработка промышленного производства плутония на уран-графитовом котле, ядерно-физические исследования и измерения для бомб, а также важнейшие вопросы радиохимии, прежде всего по выделению плутония. Отдел «Д» под руководством И.К. Кикоина занимался созданием диффузионного завода для обогащения урана до 90% изотопом урана-235, отдел «А» под руководством Л.А. Арцимовича двигался к той же цели, разрабатывая электромагнитные установки. И.К. Кикоин и Л.А. Арцимович были назначены заместителями И.В. Курчатова.

В лесных мещерских краях, в маленьком городке Сарове в 1946 г. разместился самый секретный филиал Лаборатории № 2 — КБ-11. Там под руководством будущего академика Юлия Борисовича Харитона разрабатывали конструкцию атомной бомбы. Позже у Лаборатории № 2 возникло еще два филиала: ГТЛ — Гидротехническая лаборатория в Дубне, руководимая М.Г. Мещеряковым, и РТЛ — Радиотехническая лаборатория в Москве во главе с А.Л. Минцем. Через несколько лет каждый из филиалов стал самостоятельным высококласным научно-исследовательским заведением.

### Три, два, один, ноль, пуск!

В апреле 1945 г. Курчатов докладывает Сталину четыре главные задачи: уран-графитовый котел, диффузионный завод для наработки урана-235, получение тяжелой воды для уран-тяжеловодного котла и, наконец, конструирование бомбы. Долгожданное окончание войны с Германией позволило СССР активизировать работы

по урановому проекту. Атомная бомбардировка американцами японских городов в августе 1945 г. еще более ускорила темпы работы. Был создан Спецкомитет под председательством Берии, которому подчинилось Первое главное управление при Совете Министров СССР (ПГУ) во главе с Б.Л. Ванниковым. В ПГУ создали технический совет, куда входили министры соответствующих отраслей, ученые, а также руководители созданных позже КБ и заводов атомной промышленности. Курчатов получил фактически неограниченные полномочия.

Приближаясь к цели, он пользовался некоторыми теоретическими, расчетными и конструкторскими работами американцев. По каналам научно-технической разведки НКВД документы попадали прямо к Игорю Васильевичу. У него даже была своя комната на Лубянке, где он изучал добытые материалы и формулировал интересные его вопросы на будущее. Недооценивать роль разведки в вопросе ускорения советского ядерного проекта нельзя. Точно так же, как и нельзя отводить ей решающую роль. Получаемые от разведки сведения тщательно анализировались Курчатовым с коллегами и, безусловно, оказались полезными в корректировке направлений исследований, в каких-то вопросах уберегли от ошибок. По некоторым оценкам, они примерно на год сократили срок создания советской атомной бомбы, а в той ситуации (сейчас уже точно известно, что у Пентагона был разработан план нанесения по территории СССР ядерного удара), медлить было нельзя.

В декабре 1946 г. в Лаборатории № 2 запустили первый советский атомный реактор Ф-1 (физический первый), летом 1948 г. в закрытом городе Челябинск-40 заработал первый промышленный атомный реактор — наработчик плутония А-1 («Аннушка», как его называли), а в августе 1949 г. на Семипалатинском полигоне осуществили взрыв первой советской атомной бомбы.

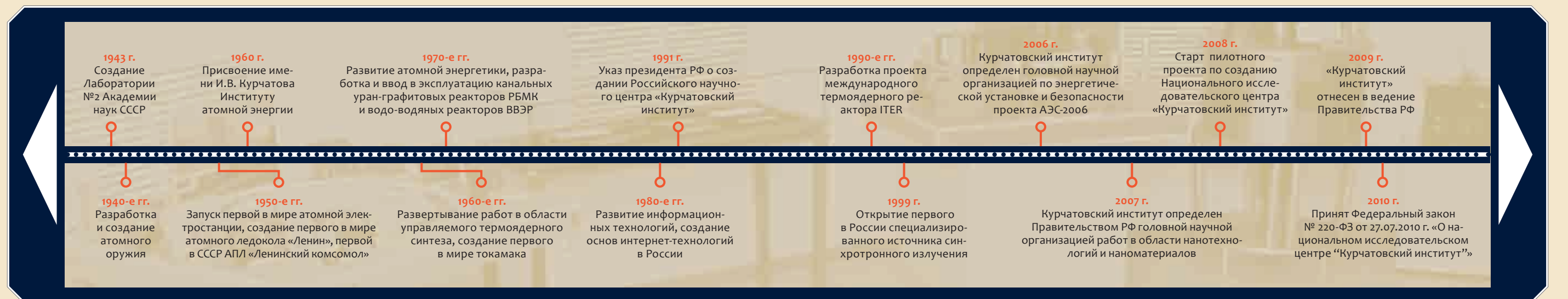
В годы холодной войны и железного занавеса идеологическое противостояние и психологическое давление достигли такого накала, что возможность применения ядерного оружия в СССР и США воспринималась чуть ли

**!** Из воспоминаний И.Н. Головина, одного из первых сотрудников Лаборатории № 2: «1944–1946 гг. стали годами поиска решений, способных наиболее быстро привести к цели. В этот период <...> анализировали выбор ядерного взрывчатого вещества, <...> сравнивали средства получения его <...>. Сопоставляли уран-графитовые и уран-тяжеловодные котлы <...>. Рассматривали различные методы разделения изотопов: на ультрацентрифугах, диффузией, электромагнитными методами, термодиффузией и др.»

не как неизбежность. А ученые-атомщики начали создавать еще более разрушительное и грозное термоядерное оружие. Зачинщиком этой гонки стал выдающийся американский физик венгерского происхождения Эдвард Теллер. Игорь Курчатов как руководитель советского атомного проекта в целом отвечал и за разработку водородной, или термоядерной бомбы. Конструирование всех вариантов ядерного оружия, теоретическое и экспериментальное обоснование конструкции велись у Ю.Б. Харитона в КБ-11. Также этой проблемой начиная с 1948 г. были «озадачены» любимое выражение Игоря Васильевича) И.Е. Тамм, В.Л. Гинзбург, А.Д. Сахаров, Я.Б. Зельдович.

Уже в августе 1953 г. первая в мире термоядерная бомба была успешно испытана на Семипалатинском полигоне.

Таким образом, под научным руководством Лаборатории № 2, преобразованной в 1949 г. по предложению И.В. Курчатова в Лабораторию измерительных приборов Академии наук СССР (ЛИПАН), институтами и предприятиями оборонной отрасли, прежде всего ВНИИ экспериментальной физики (Арзамас-16), возглавляемым соратником Игоря Васильевича Ю.Б. Харитоном, НИИ химического машиностроения (НИИхиммаш), которым руководил выдающийся конструктор Н.А. Доллежал, ВНИИ технической физики (Челябинск-70), учеными и производственниками Ленинграда, Красноярска, Свердловска, Томска и других ядерных центров, военнослужащими и специалистами ядерных полигонов был создан ядерный щит страны.



**Атом должен быть мирным**

Еще до завершения оружейных разработок И.В. Курчатов начал задумываться о широком использовании атомной энергии в мирных целях. В сфере его интересов — атомная энергетика, флот, летательные аппараты, позднее космос.

К концу 1940-х гг. Курчатов выдвинул задачу спроектировать и построить опытно-промышленную атомную электростанцию. Идея конструкции активной зоны уран-графитового канального реактора станции была предложена И.В. Курчатовым и его соратником С.М. Фейнбергом. Первая АЭС строилась в Обнинске на базе Физико-энергетического института (главный конструктор — Н.А. Доллежал, руководитель работ — Л.Б. Блохинцев). Пуск первой в мире промышленной АЭС полезной мощностью 5 тыс. кВт был осуществлен 27 июня 1954 г. под руководством И.В. Курчатова и его заместителя А.П. Александрова. Этот день по праву счита-

*«Нам, ученым, работающим в области атомной энергии, больше чем кому бы то ни было видно, что применение атомного и водородного оружия ведет человечество к неисчислимым бедствиям»*

*Игорь Васильевич Курчатов, 1958 г.*

ется днем рождения ядерной энергетике. Уже в июне 1955 г. И.В. Курчатов и А.П. Александров возглавили разработку программы развития ядерной энергетике в СССР для энергетических, транспортных и других мирных целей. Началось сооружение крупных атомных электростанций. Так, создание под научным руководством Курчатовского института Нововоронежской станции (1964) было первым шагом в развитии большой серии водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР), разработка физики и технологии которых стала на многие годы одним из основных направлений научной и инженерной деятельности института. На основе опыта создания промышленных уран-графитовых реакторов получило развитие и другое направление энергетического реакторостроения — реакторы большой мощности канальные (РБМК), научное руководство разработкой которых также было возложено на Курчатовский институт. Первый энергоблок большой мощности — РБМК-1000 — начал работать на Ленинградской АЭС в 1973 г.

Между тем ЛИПАН в 1956 г. была переименована в Институт атомной энергии АН СССР (ИАЭ АН СССР). Его организационная структура отвечала сложившимся к тому времени научным направлениям, хотя по соображениям секретности подразделения носили, мягко говоря, странные названия. Отдел «оптических приборов» (реакторное направление) И.В. Курчатов курировал сам, Отдел «приборов теплового контроля» (диффузионное отделение

урана) возглавлял академик И.К. Кикоин, Отдел «электроаппаратуры» (электромагнитное отделение) вел академик Л.А. Арцимович. Он же был начальником «Бюро электрических приборов» (потом переименованного в «Отдел звуковой аппаратуры») — подразделения, в котором проводились работы по термоядерной энергетике.

В 1956 г. Курчатов сопровождал Председателя Совета Министров СССР Н.С. Хрущева в поездке в Англию и сделал в Харуэлле легендарный доклад о развитии атомной энергетике, термоядерных исследованиях в СССР. Открывая секретные работы по термоядерным исследованиям, на чем Игорь Васильевич настоял перед поездкой, он, по существу, предложил соперничающим сторонам сделать шаги к сближению и совместно решать эту перспективную и очень трудную проблему.

За годы работы Курчатова в Лаборатории № 2 были созданы атомное и термоядерное оружие, первые в мире атомная электростанция и атомный ледокол, вторая в мире атомная подводная лодка, возникла советская атомная промышленность. Крайне важно также, что именно в эти годы отечественная атомная наука достигла настолько высокого уровня, что и сегодня, спустя 70 лет, мы продолжаем пользоваться ее плодами, развивая ее на новом уровне. Колоссальная ответственность, напряжение всех сил на посту руководителя атомного проекта подорвали здоровье Игоря Васильевича. Он умер в феврале 1960 г. в возрасте 57 лет. Созданный им институт получил имя Курчатова и продолжает с гордостью носить его сегодня.

Выступая на сессии Верховного Совета СССР незадолго до смерти, Курчатов говорил: «Нестерпима мысль, что может начаться атомная и водородная война. Нам, ученым, работающим в области атомной энергии, больше чем кому бы то ни было видно, что применение атомного и водородного оружия ведет человечество к неисчислимым бедствиям». Но тогда призывы Курчатова прекратить испытания ядерного оружия и запретить его остались неслышанными. Перемирие в холодной войне было еще впереди.

В 1960 г. после смерти Игоря Васильевича на посту директора его сменил один из ближайших сподвижников — Анатолий Петрович Александров. Он был создателем технологии размагничивания кораблей, участвовал в исследованиях по термодиффузионному разделению изотопов для первой советской атомной бомбы, позднее — в разработке промышленных реакторов. Но главное дело жизни Анатолия Петровича — создание советского атомного флота.

В начале 1950-х гг. под руководством И.В. Курчатова и А.П. Александрова в институте начались работы по созданию судовых атомных энергетических установок как для боевых судов — атомных подводных лодок, так и для атомных ледоколов, имеющих сугубо мирное назначение. В создании атомной подводной лодки нашей стране также пришлось догонять США. 4 июля 1958 г., спустя шесть лет после старта проекта, под атомной установкой был дан подводный ход. Успех дела определило участие «трех китов»: А.П. Александрова (научный

руководитель), В.Н. Перегудова (главный конструктор корабля), Н.А. Доллежала (главный конструктор энергетической установки).

В 1953 г. началось проектирование атомных ледоколов. Атомный ледокол «Ленин» (главный конструктор ледокола — В.И. Неганов, главный конструктор реакторной установки — И.И. Африкантов), сданный в эксплуатацию в 1959 г., стал первым в мире надводным судном с атомной энергетической установкой, не имеющим равных по мощности среди ледоколов всего мира. Созданный в последующие годы уникальный советский флот атомных ледоколов обеспечил круглогодичную навигацию по Северному морскому пути и сыграл огромную роль в промышленном развитии северных территорий России.

**Новые задачи**

С начала 1960-х гг. в Институте атомной энергии значительно расширился объем исследований и разработок по применению атомной энергии для космических целей, летательных аппаратов, созданию высокотемпературных источников атомной энергии. Эти работы были сосредоточены в специально созданном отделе и велись под руководством М.Д. Миллионщикова. Были разработаны и испытаны космические ядерные установки с термоэмиссионными элементами, показавшие возможность достижения длительного ресурса при высокой безопасности на всех стадиях работы на Земле и в космосе, а также ионный и плазменный двигатели. Эти источники значительно расширили возможности прямого телевидения высокого качества, улучшили управление воздушным и морским транспортом, создали новые условия для информационных и телефонных коммуникаций, а также позволили выполнить ранее недоступные исследования околоземного и дальнего космического пространства.

Предложенный И.Е. Таммом и А.Д. Сахаровым метод магнитного удержания плазмы лег в основу программы управляемого термоядерного синтеза, официально признанной важнейшей государственной задачей еще в 1951 г. Руководство экспериментальными работами было поручено Л.А. Арцимовичу, теоретические исследования возглавил М.А. Леонтович.

Начальный этап российских и зарубежных работ по управляемому термоядерному синтезу (УТС) характеризовался обилием идей, типов ловушек для плазмы. Однако реально удержать удалось ее только в разработанных в стенах Института атомной энергии мегаустановках — токамаках. Сейчас слово «токамак» заимствовано из русского языка почти всеми языками мира. Большой заслугой советской программы УТС было создание на базе института теоретической школы физики горячей плазмы, во главе которой стоял Михаил Леонтович. С начала 1970-х гг. токамак стал основным объектом в мире в исследованиях по УТС с магнитным удержанием.

В эти годы в Курчатовском институте был создан целый ряд установок: Т-10, первый в мире токамак Т-7



Графитовая кладка первого в СССР ядерного реактора Ф-1

со сверхпроводящими обмотками на основе ниобий-титанового сплава, крупнейший в стране сверхпроводящий токамак Т-15. Исследования, которые проводились на этих установках в России, а также работы по управляемому термоядерному синтезу в США, Японии и Европе, подготовили почву для следующего шага — разработки международного экспериментального термоядерного реактора ITER.

Изначально ядерная физика в институте атомной энергии была нацелена главным образом на изучение цепной реакции деления, но в дальнейшем спектр работ существенно расширился. Помимо физики деления предметом изучения стали ядерные реакции, ядерная спектроскопия, нейтронная спектроскопия, слабые взаимодействия и физика элементарных частиц. Задачи ядерной энергетике потребовали развития исследований по физике твердого тела. Работы в этой области начались в 1960-х гг., был создан целый ряд все более совершенных исследовательских реакторных установок различного типа. В 1981 г. был сооружен исследовательский реактор ИР-8 с высокими нейтронно-физическими характеристиками.

Фундаментальные исследования — традиционное направление работ в Курчатовском институте. Со дня возникновения института они ведутся в самых разных областях: ядерная физика, физика твердого тела, включая сверхпроводники, материаловедение, физика плазмы, физическая химия и др. Многие получили всемирное признание.

**Сверхпроводимость**

К концу 1960-х гг. Курчатовский институт на государственном уровне был определен научным руководителем проблемы использования сверхпроводимости в атомной науке и технике и в некоторых других областях. К середине 1970-х гг. были найдены и реализованы в конкретных конструкциях технических сверхпроводящих материалов принципы стабилизации сверхпроводящего состояния и организовано одно из крупнейших в мире промышленных производств проводов, кабелей и электропроводящих шин.

Особое место в работах занимала проблема сверхпроводящих магнитов с принудительным охлаждением жидким гелием, открывающая возможности создания

крупных магнитов со сложной конфигурацией магнитного поля, предназначенных, в частности, для термоядерных реакторов будущего. Сверхпроводящие магниты, созданные в Курчатовском институте, широко применяются в лабораториях самого института, в других научных организациях страны и за рубежом.

### Разделение изотопов

Продолжала демонстрировать свои успехи и школа Исаака Константиновича Кикоина, сложившаяся в ходе решения проблемы разделения изотопов урана. Совершенствовалась газодиффузионная технология, изучались другие методы разделения изотопов урана, прежде всего метод газовых центрифуг, или центробежный метод, который позволил разделительной промышленности страны перейти на газовые центрифуги и дал существенное снижение энергоемкости процесса разделения изотопов урана. Центробежная техника открыла возможность масштабного разделения стабильных изотопов. С ее использованием ныне разделяются изотопы десятков химических элементов Периодической таблицы Менделеева. Применение выделяемых изотопов приобрело не только научное, но и медицинское значение и дало начало развитию в Курчатовском институте и в стране технологий ядерной медицины.

### Микроэлектроника

Институт атомной энергии имени И.В. Курчатова был пионером в создании новых технологий и в области микроэлектроники. Именно здесь в конце 1960-х — начале 1970-х гг. были получены результаты мирового значения в области микроэлектронной технологии: ионная имплантация, сверхвысококачественные вещества, литография, плазменная химия, тонкие пленки. Позже это стало основой для создания в рамках ИАЭ им. И.В. Курчатова Института микротехнологий.

Разработанная здесь технология изготовления интегральных схем включала всю последовательность технологических операций — от подготовки исходных кремниевых пластин до выходного контроля схемы, смонтированной в предназначенном для нее корпусе. Такой мощный технологический задел позволил позднее развить в Курчатовском институте и работы в области нанотехнологий, создания гибридных систем.

### Перестройка, конверсия

Конец 1980-х — 1990-е гг. для института, как и для всей нашей науки, были весьма непростым периодом. Это совпало с аварией на Чернобыльской АЭС, психологические, экономические, политические последствия которой сказывались еще долгие годы и на атомной отрасли страны в целом, и на Курчатовском институте. Под влиянием стремительно менявшихся в стране социально-политических условий серьезно пересматривались тематика, структура, актуальность тех или иных задач. Не без потерь, но все же удалось сохранить мощную экспериментальную базу, кадровый потенциал, а главное — уникальную научную школу.

В конце 1991 г. указом президента РФ Институт атомной энергии имени И.В. Курчатова был преобразован в Российский научный центр «Курчатовский институт».

В 1990-х гг. президент РНЦ «Курчатовский институт» Евгений Павлович Велихов выступил с идеей конверсии российского оборонного судостроения и предложил руководителям предприятий подводного кораблестроения и нефтегазовой промышленности приступить к совместному освоению морских месторождений нефти и газа на арктическом шельфе. На верфях уникального кораблестроительного завода «Севмаш» приступили к сооружению морской ледостойкой стационарной платформы для освоения Приразломного нефтяного месторождения. Это положило начало отечественной промышленности морской добычи углеводородов в Арктике.

Важной сферой деятельности Курчатовского института в 1990-е гг. стали также информационные технологии. Курчатовский научный центр — родоначальник Интернета в нашей стране. Здесь же начал работать один из первых еще в Советском Союзе суперкомпьютеров, который сегодня стал одной из составляющих Курчатовского НБИКС-центра. Суперкомпьютеры центра обработки данных в НИЦ «Курчатовский институт» имеют пиковую производительность 123 и 127 терафлопс, и этот комплекс входит в тройку самых мощных в СНГ и первую сотню мирового рейтинга. Курчатовский институт — один из базовых научных центров грид- и глобид-технологий.

### Меганаука

В 1999 г. по инициативе тогдашних руководителей РНЦ «Курчатовский институт» Евгения Велихова и Александра Румянцева было принято решение организовать Курчатовский центр синхротронных исследований (КЦСИ). Его директором-организатором был назначен Михаил Ковальчук. Вскоре под его руководством начал функционировать первый и до сих пор единственный в России и СНГ специализированный источник синхротронного излучения.

За прошедшие годы Курчатовский синхротрон превратился в научный комплекс, на котором развернулись исследования в области фундаментальных наук, материаловедения, нано- и биотехнологий, молекулярной биологии и медицины, развиваются методы нанодиагностики с атомарным разрешением. Именно Курчатовский центр синхротронного излучения стал тем ядром, вокруг которого возник и развивается сегодня Курчатовский НБИКС-центр.

XXI в. Курчатовский институт встретил новыми глобальными идеями. В 2005 г. директором института стал член-корреспондент РАН Михаил Валентинович Ковальчук. Всего за несколько лет коллективу курчатовцев под его руководством удалось не только справиться с тяжелыми последствиями разрухи 1990-х гг. и трудностями переходного периода начала 2000-х гг., но и осуществить качественные изменения в научной жизни института. Продолжают развиваться как традиционные, так и новые научные направления — атомная энергетика

и ядерный топливный цикл, международный термоядерный реактор *ITER* и управляемый термоядерный синтез, фундаментальные исследования, информационные технологии и системы, технологии и разработки двойного назначения, нераспространение ядерных материалов и защита ядерно-опасных объектов, биомедицинские технологии и ядерная медицина, технологии разделения изотопов, нанотехнологии, нанодиагностика и материаловедение.

Масштабная работа в области нанотехнологий началась после принятия президентской инициативы «Стратегия развития nanoиндустрии», где Курчатовский институт был обозначен как национальный исследовательский центр нанотехнологий, наносистем и наноматериалов, осуществляющий научную координацию деятельности в этой области науки и техники.

Новым прорывным направлением для Курчатовского института стала конвергенция нано-, био-, инфо-, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий. М.В. Ковальчук сформулировал стратегию развития в России этого научного направления, и в 2008 г. под его научным руководством был создан не имеющий мировых аналогов Курчатовский НБИКС-центр, где полным ходом идут исследования и разработки в области конвергенции современных технологий с «конструкциями» живой природы. Перед учеными поставлена задача — создать гибридные приборы, технологически воспроизвести живую систему на основе биоорганического материала. НБИКС-центр располагает уникальной инфраструктурой для ведения конвергентных фундаментальных и прикладных исследований в области материаловедения, бионанотехнологий, информатики, инновационной энергетики. Здесь же ведутся исследования по когнитивной тематике — изучение природы мышления, формирования процессов памяти и их моделирования.

В работах Курчатовского НБИКС-центра самое активное участие принимают молодые ученые, ведь для них открываются широкое поле деятельности, интересные, перспективные задачи, работа в прекрасно оснащенных на уровне мировых стандартов новых лабораториях. Таких междисциплинарных специалистов уже с 2005 г. готовят на кафедре физики наносистем физического факультета МГУ. М.В. Ковальчук также основал и возглавил первый в мире факультет НБИКС-технологий в Московском физико-техническом институте (МФТИ). Его студенты и аспиранты уже активно включились в работу Курчатовского НБИКС-центра.

Во всем мире крупные ядерно-физические центры, располагающие большими уникальными исследовательско-технологическими установками и комплексами меганаучного класса, становятся инкубаторами для развития принципиально новых отраслей науки и технологий. Не случайно именно на базе Курчатовского института был образован первый в России национальный исследовательский центр. Осенью 2009 г. указом президента РФ к реализации этого проекта присоединились Петербургский институт ядерной физики им.

Б.П. Константинова, Институт физики высоких энергий, Институт теоретической и экспериментальной физики. Сегодня в объединенном Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» сконцентрирован колоссальный научный, технологический и кадровый потенциал, уникальный комплекс исследовательско-технологических мегаустановок. В общей научной программе объединившихся институтов приоритетное направление — научные исследования на больших мегаустановках как в России, так и за рубежом. В институтах НИЦ «Курчатовский институт» сегодня развернуты работы практически по всем направлениям современной науки: от ядерной энергетики и физики элементарных частиц до конвергентных нано-, био-, инфо-, когнитивных, социогуманитарных наук технологий и высокотехнологичной медицины.

В списке общих задач находятся также разработка и создание принципиально новых национальных мегаустановок мирового класса, как, например, крупнейший в мире источник нейтронов ПИК в Петербургском институте ядерной физики в Гатчине, ввод в эксплуатацию которого пошел быстрыми темпами после вхождения института в НИЦ «Курчатовский институт». Реактор ПИК станет основой международного центра нейтронных исследований мирового класса.

Курчатовский институт, несмотря на закрытость части своих работ, всегда тесно сотрудничал с зарубежными научными центрами. Сегодня он активно участвует в важнейших международных научных проектах, реализующихся усилиями нескольких стран, в каждом из которых Россия играет значительную роль. Это Большой адронный коллайдер в центре европейских ядерных исследований *CERN* в Швейцарии, термоядерный реактор *ITER* во Франции — «прообраз искусственного Солнца», рентгеновский лазер на свободных электронах *XFEL* в научном центре *DESY* и ускоритель тяжелых ионов *FAIR* (оба в Германии).

Трудно переоценить значение Курчатовского института, его роль в отечественной и мировой науке. Организованный для решения проблемы создания советской атомной бомбы, Курчатовский институт сыграл ключевую роль в обеспечении безопасности страны и развитии важнейших стратегических направлений, стал родоначальником множества научных направлений практически по всему спектру современной науки.

Всякий юбилей — это время задуматься, оглянуться назад, оценить, что сделано. За 70 лет своей великой истории всемирно известный Курчатовский институт накопил колоссальный багаж, конечно, состоящий не только из открытий и триумфов. Любому развитию, на всех уровнях, всегда есть и сопротивление. Сегодня, когда российская наука вновь вошла в стадию роста, можно не только строить планы, но и реализовывать их. В год своего юбилея Курчатовский институт оценивает итоги прошлого и смотрит в будущее, закладывает его базу, делает его реальностью. ■

Подготовили **Наталья Лескова** и **Екатерина Яцишина**





*«Делайте в работе, в жизни только самое главное».*

*И.В. Курчатов*

# ТИТАН АТОМНОГО ВЕКА

*Игорь Васильевич Курчатов, академик АН СССР, трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Сталинских премий СССР. Награжден пятью орденами Ленина, другими орденами и медалями, в том числе Серебряной медалью Мира им. Жюлио-Кюри, грамотой «Почетный гражданин Советского Союза»*

**И**горь Васильевич Курчатов родился 12 января 1903 г. в семье помощника лесничего на Урале, в поселке Симский завод. В 1911 г. семья Курчатовых переехала в Симферополь. Здесь мальчик поступил в гимназию. С детства он любил хорошую музыку и до поры рос чистым гуманитарием. Судьбу, как это нередко случается, решил случай. В руки подростка попала книга О.М. Корбино «Успехи современной техники», которая перевернула его воображение. Игорь стал собирать и изучать техническую литературу. Мечтая о профессии инженера, он изучал аналитическую геометрию в объеме университетского курса, решая многочисленные математические задачи.

Планам чуть не помешала Первая мировая война, материальное положение и без того небогатой семьи стало совсем тяжелым. Пришлось помогать отцу. Тут уж было не до инженерии. Игорь ходил на консервную фабрику пилить дрова, а вечерами работал в мундштучной мастерской. Вскоре он поступил в симферопольскую вечернюю ремесленную школу, где получил квалификацию слесаря. Несмотря на загруженность, Игорь продолжал читать запоем, за последние два года он получил исключительно пятерки, а в 1920 г. окончил гимназию с золотой медалью. В сентябре того же года он поступил на первый курс физико-математического факультета Крымского университета, где за три года освоил четырехлетний курс и блестяще защитил дипломную работу. Осенью 1923 г. Курчатов уехал в Петроград, где был зачислен сразу на третий курс кораблестроительного факультета Политехнического института. Одновременно он стал работать в качестве наблюдателя в Магнито-метеорологической обсерватории в Павловске. Первая

экспериментальная научная работа была посвящена альфа-радиоактивности снега. Весной 1924 г. Курчатов прервал учебу в Политехническом институте и занялся научной деятельностью. Переход на работу в Ленинградскую физико-техническую лабораторию знаменитого физика Абрама Федоровича Иоффе, состоявшийся в сентябре 1925 г., стал поворотным этапом в научной жизни И.В. Курчатова.

## **Просто о сложном**

Очень скоро Игорь Васильевич завоевал в институте авторитет и получил звание научного сотрудника первого разряда, а затем — старшего инженера-физика. Наряду с исследовательской работой Курчатов читал специальный курс физики диэлектриков на физико-механическом факультете Ленинградского политехнического института и в Педагогическом институте. Блестящий лектор, он владел искусством передавать физический смысл описываемых явлений и пользовался большой любовью студентов. Сам молодой ученый, он часто рассказывал о результатах своих исследований, пробуждая у молодых подлинный интерес к науке.

Дорожа своими учениками, А.Ф. Иоффе никогда не ограничивал их свободы. Когда Игорь Васильевич начал работать в Физтехе, ему было 22 года, а институту, как писал Иоффе, «семь лет от роду, и молодость сотрудников была привычным делом». Поддразнивая, институт называли «детским садом папы Иоффе». Курчатов пришелся по душе коллективу своим энтузиазмом, работоспособностью, стремлением жить общими интересами. Первой его печатной работой в лаборатории диэлектриков оказалось исследование прохождения медленных



Игорь Курчатов — гимназист



Игорь Курчатов — молодой ученый Физтехе

электронов сквозь тонкие металлические пленки. При решении этой задачи проявилась одна из типичных черт Игоря Васильевича — он умел четко подмечать противоречия и аномалии и выяснять их природу прямыми опытами. «Это же свойство, — писал Иоффе, — привело его к открытию сегнетоэлектричества, к поискам механизма выпрямления тока, к изучению нелинейности токов в карборундовых разрядниках, к изучению предпробойных токов в стеклах и смолах, униполярности токов в солях, а позже к открытиям в области атомного ядра...»

Талант Игоря Васильевича особенно ярко проявился при открытии сегнетоэлектричества. В конце 1929 г. А.Ф. Иоффе поручает И.К. Курчатову и П.П. Кобеко разобраться в явлении аномально высокой диэлектрической проницаемости сегнетовой соли. В результате экспериментов была отвергнута ранее существовавшая трактовка этого явления и показано, что сегнетовая соль выступает электрическим аналогом ферромагнетика. Класс диэлектриков, обладающих такими же свойствами, как и сегнетовая соль, Курчатов назвал сегнетоэлектриками. В итоге Курчатовым была заложена основа новой области науки — учение о сегнетоэлектричестве.

### Трудоголик

В 1927 г. Игорь Васильевич женился на Марине Дмитриевне Синельниковой, сестре своего друга Кирилла Синельникова. Он познакомился с ней еще в детстве в Крыму и дружил все эти годы. Марина стала его верным другом и помощником. Детей у них не было, и все свое внимание Марина Дмитриевна отдала Игорю Васильевичу. Она создала атмосферу настоящего дружелюбия, которую чувствовали все переступавшие порог их дома. Курчатов работал дома так же интенсивно, как и в институте.

В 1933 г. Курчатова назначили начальником Отдела ядерной физики Ленинградского физико-технического

института. Приступив к изучению искусственной радиоактивности, возникающей при облучении ядер нейтронами, или, как тогда это называли, к изучению эффекта Ферми, Игорь Васильевич вместе с братом Борисом, Л.В. Мысовским и Л.И. Русиновым уже в апреле 1935 г. открыл явление ядерной изомерии. После этого изучением ядерных изомеров начали интенсивно заниматься во многих лабораториях разных стран. Их исследование в значительной степени определило развитие представлений о структуре атомного ядра.

Одновременно Курчатов вел и другие опыты с нейтронами. Вместе с Львом Андреевичем Арцимовичем он провел серию исследований поглощения медленных нейтронов и добился фундаментальных результатов. Ученым удалось зафиксировать захват нейтрона протоном с образованием ядра тяжелого водорода — дейтрона и надежно измерить сечение этой реакции. Курчатов ищет ответ на главный вопрос: происходит ли размножение нейтронов в различных композициях урана и замедлителя? Эту тонкую экспериментальную задачу Курчатов поручил своим молодым сотрудникам Флерову и Петряку, и они блестяще ее выполнили.

### В центре внимания уран

В начале 1940 г. Флеров с Петряком подали краткое сообщение об открытом ими новом явлении — самопроизвольном делении урана — в американский журнал *Physical Review*, в котором печаталось большинство сообщений об уране. Письмо было опубликовано, но проходили неделя за неделей, а отклика все не было. Американцы засекретили все свои работы по атомному ядру. Мир вступил во Вторую мировую войну.

В 1941 г. намеченная Курчатовым программа научных работ была прервана, и вместо ядерной физики он вместе с Анатолием Петровичем Александровым

и другими сотрудниками ЛФТИ принял участие в работах по защите кораблей от магнитных мин.

Только в конце 1942 г. работы по исследованию осуществимости использования атомной энергии были возобновлены. В 1943 г. Игорь Васильевич возглавил советский атомный проект, будучи руководителем Лаборатории № 2 АН СССР, впоследствии ставшей Институтом атомной энергии. 1944 г. ознаменовался пуском циклотрона, построенного всего лишь за год. Вскоре на нем был впервые в СССР выведен наружу пучок дейтронов. Курчатов собрал по этому случаю у себя дома участников пуска и поднял бокал за первую победу нового коллектива.

В 1946 г. для И.В. Курчатова на территории Лаборатории № 2 недалеко от главного здания построили коттедж. Он ходил на работу прямо через лес и очень скоро протоптал тропинку. Она и сейчас петляет среди деревьев. Сотрудники в шутку называли его дом «хижиной лесника».

### Мобилизация атома

И.В. Курчатов осуществлял научное руководство всеми работами по атомному проекту и сам непосредственно участвовал в работах по созданию уран-графитовых реакторов, начиная с первого в Евразии атомного реактора Ф-1, пущенного 25 декабря 1946 г. в Лаборатории № 2. В официальном отчете руководству страны Курчатов писал: «В результате большой и напряженной работы, проведенной коллективом в течение июля 1943 — декабря 1946 гг., удалось 25 декабря 1946 г. в 18 часов впервые наблюдать цепную саморазвивающуюся реакцию в осуществленном надкритическом уран-графитовом котле с практически полным и, по видимому, самым рациональным использованием всех изготовленных к этому времени урановых и графитовых блоков». Крайне важной вехой в биографии ученого



Игорь Курчатов за работой

было создание и испытание первой советской атомной бомбы, положившей начало формированию ядерного щита страны. Грозное оружие, как это ни парадоксально звучит, было необходимо для сохранения мира. Ввиду чрезвычайной секретности и срочности проекта И.В. Курчатов находился под неусыпным контролем органов госбезопасности, Берии и самого Сталина. Много лет спустя академик Александров, вспоминая те годы, говорил: «Слово Сталина решало вообще судьбу проекта. По одному жесту Берии любой из нас мог уйти в небытие. Но вершиной пирамиды был все-таки именно Курчатов. Это наше счастье, что в нем воплотились тогда и компетентность, и ответственность, и власть».

Успешное испытание нового оружия произошло ранним утром 29 августа 1949 г. на специально для этого построенном полигоне в Семипалатинской области. Создатели бомбы свои обязательства выполнили. Монополии США на владение атомным оружием был положен конец. Лаврентий Берия, как рассказывали очевидцы, расцеловал Курчатова со словами: «Какое счастье! Ведь могло произойти несчастье». Что он имел в виду, понятно было всем. Запад был потрясен: у Советского Союза появилось атомное оружие! Всех создателей щедро наградили: Курчатову и ведущим участникам атомного проекта присвоили звание Героя Социалистического Труда, многие ученые стали лауреатами Сталинской премии. Кроме того, они получили право бесплатного проезда в любой город страны.

А почти через четыре года, под утро 12 августа 1953 г., еще до восхода солнца, над полигоном раздался оглушительный термоядерный взрыв. Прошло успешное испытание первой в мире водородной бомбы. Создано ядерное оружие, но, по убеждению Игоря Васильевича, атомная энергия должна была служить человеку, а не убивать его.



С.П. Александровым и его дочкой Машей, 1954 г.



Первая в мире атомная электростанция, Обнинск

### «Живой» интерес

Еще в 1949 г. Курчатов начал работать над проектом атомной электростанции. Им совместно с С.М. Фейнбергом была предложена идея конструкции активной зоны реактора этой станции. Главным конструктором выступил Н.А. Доллежал. 27 июля 1954 г. был осуществлен пуск первой в мире атомной электростанции.

Но И.В. Курчатов ставил уже новые задачи — создание электростанции на основе термоядерной управляемой реакции. Однако этот замысел ученый осуществить не успел. Под руководством Курчатова была построена прямолинейная термоядерная установка «Огра» для исследований удержания и свойств плазмы. При жизни И.В. Курчатова в ИАЭ под руководством Л.А. Арцимовича были построены первые установки «токамак», принцип действия которых впоследствии был положен в основу создания международного экспериментального термоядерного реактора *ITER*.

Одновременно И.В. Курчатов приступил к созданию первой в СССР атомной подводной лодки «Ленинский комсомол» (1958) и первого в мире атомного ледокола «Ленин» (1959). В результате появились новая отрасль атомного подводного и надводного судостроения, новая наука, новыми стали и технологии.

Игоря Курчатова волновали не только близкие ему проблемы атомной науки, но и, казалось бы, далекие от них, например проблемы биологии, генетики. Его очень тревожило положение в биологической науке, сложившееся в конце 1940-х — начале 1950-х гг. Вместе с президентом Академии наук СССР Александром Николаевичем Несмеяновым он специально обращался в правительство с заявлением о необходимости развития ряда ее разделов, организовал специальный биологический семинар, к участию в котором привлек выдающихся ученых. Особый интерес у Курчатова вызвали вопросы, связанные с реакцией живой клетки на радиоактивное излучение. В Институте атомной энергии Игорь Васильевич создал



Пресса США о взрыве в СССР атомной бомбы

научный сектор в области генетики и селекции микроорганизмов, на основе которого позднее был создан радиобиологический отдел. В нем работали ученые самых разных специальностей: биологи, химики, физики, техники, которые развернули работы по физике биополимеров и молекулярной генетике. Позднее этот отдел выделился из состава Института атомной энергии и был преобразован в Институт молекулярной генетики АН СССР.

### Ядерному взрыву — нет, нет, нет

Круг интересов Курчатова не исчерпывался только наукой. Он был активным борцом за мир. Понимая огромную опасность для человечества гонки ядерных вооружений, он последовательно выступал за безусловное запрещение ядерного оружия и использование ядерной энергии только в мирных целях. Вся кипучая деятельность И.В. Курчатова, усилия всей страны в те трудные годы ее истории, обеспечившие создание в кратчайшие сроки оружия ядерного сдерживания, способствовали сохранению мира.

На заседании Верховного Совета СССР 31 марта 1958 г. Игорь Курчатов выступил с такими словами: «Ученые глубоко взволнованы тем, что до сих пор нет международного соглашения о безусловном запрещении атомного и водородного оружия. Мы обращаемся к ученым всего мира с призывом превратить энергию ядер водорода из оружия разрушения в могучий, живительный источник энергии, несущий благосостояние и радость всем людям на Земле».

За годы работы над урановой проблемой под научным руководством Курчатова было создано советское атомное и термоядерное оружие, пущена первая в мире атомная электростанция, вошли в строй атомный ледокол и атомная подводная лодка и, что не менее важно, была создана сильнейшая отечественная атомная наука, возникла мощная атомная промышленность. Но годы напряженной работы подорвали его здоровье. Вскоре после возвращения из Англии, где Игорь Васильевич в 1956 г. сделал доклад в атомном центре в Харуэлле, у него случился инсульт.

Здоровье восстанавливалось медленно, врачи ограничивали Игоря Васильевича в работе и даже во встречах с коллегами. Курчатов, привыкший быть всегда в центре событий, это угнетало. Когда болезнь отступала, он самозабвенно занимался атомной энергетикой, транспортными ядерными установками, но особенно много и вдохновенно — проблемами термоядерного синтеза. Находясь дома, Игорь Васильевич читал, слушал игру супруги на рояле или пластинки, которые коллекционировал. Он очень любил музыку, особенно Рахманинова. Ездил, если позволяло здоровье, на концерты в Большой зал консерватории. За несколько дней до кончины, в феврале 1960 г., слушал «Реквием» Моцарта.

Случилось это как-то до обидного просто и обыденно. После встречи с академиками Капицей и Топчиевым Курчатов поехал в Барвиху, где находился на отдыхе академик Юлий Харитон. Они долго гуляли по саду, потом присели передохнуть. Неожиданно в разговоре возникла длинная пауза. Харитон обернулся и увидел, что Курчатов умер. Так оборвался жизненный путь этого блестящего ученого и организатора науки. В трауре были все, кто его знал. Ушел из жизни один из величайших физиков планеты, основатель Института атомной энергии — выдающаяся фигура советской и мировой науки, интеллигент, энциклопедист, обаятельный человек, которого все любили.



«Хижина лесника» — дом-музей И.В. Курчатова

### Чтобы помнили

Курчатов терпеть не мог болеть, был оптимистом и считал, что болезнь на то и болезнь, чтобы в конце концов отступить. В своих воспоминаниях академик Анатолий Александров рассказывал: «За время болезни, воспаления легких (еще в самом начале атомного проекта. — Прим. ред.), у Курчатова отросла большая черная борода. И сотрудники между собой дали ему прозвище «Борода». На вопрос, когда он ее сбреет, Игорь Васильевич, лукаво улыбаясь, отвечал: «Ну какой же я Борода без бороды?» У него даже появились привычки, по которым сотрудники узнавали его настроение. Если он гладил бороду по шерстке, значит все было хорошо, а если тербил и тянул вниз, то дела идут неладно...» Из воспоминаний академика Андрея Дмитриевича Сахарова: «Однажды молодой коллектив принес в «хижину» огромный лист ватмана с записанными в клетках десятками задач и последовательностью их решения. Игорь Васильевич весело взглянул на клетки, посвистел и назвал этот план «шорохом орехов». А на вопрос «почему?» рассказал озорную историю про торговца-грузина, продававшего на рынке орехи за ту же цену, за которую их купил, потому что он «любил шорох орехов». Тогда Курчатов закончил разговор с молодежью такими словами: «Делайте в работе, в жизни только самое главное. Иначе второстепенное, хотя и нужное, легко заполнит вашу жизнь, возьмет все силы, и до главного вы не дойдете... Исследуйте то, что приведет вас к цели».

Подготовила Анна Пименова



В доме-музее И.В. Курчатова



*«Самое главное в жизни — это хорошо работать самому, но еще важнее научить хорошо работать других».*

*А.П. Александров*

# ЕГО ЗВАЛИ А.П.

*Анатолий Петрович Александров, академик АН СССР, трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Сталинских премий СССР. Награжден одиннадцатью орденами Ленина, орденом Трудового Красного Знамени, орденом Октябрьской Революции, Большой золотой медалью имени М.В. Ломоносова АН СССР, Золотой медалью имени И.В. Курчатова АН СССР. Лауреат премии имени А.Ф. Иоффе АН СССР*

**А**натолий Петрович Александров родился 13 февраля 1903 г. в городе Тараща под Киевом (Украина). В 1906 г. семья переехала в Киев, где в 1919 г. Анатолий окончил реальное училище. В 1919–1920 гг. во время Гражданской войны он служил юнкером в армии Врангеля, а после работал ассистентом в Киевском горном институте, электромонтером, электротехником в Киевском физико-химическом обществе при Политпросвете, преподавателем средней школы в селе Белки Киевской области. Несколько лет будущий академик совмещал учебу на физико-математическом факультете Киевского государственного университета (1924–1930) с преподаванием физики и химии в 79-й трудовой школе Киева.

Еще студентом Александров приступил к самостоятельной исследовательской работе в Киевском рентгеновском институте под научным руководством профессора В.К. Роше. Эти исследования привлекли внимание академика Абрама Федоровича Иоффе, который пригласил молодого ученого в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ).

Свою научную деятельность в ЛФТИ Анатолий Петрович начал в 1930 г. с исследований электрической прочности диэлектриков. Его прецизионные эксперименты продемонстрировали независимость электрической прочности изоляционных пленок от их толщины и заставили отказаться от развивавшейся в то время лавинной теории ударной ионизации. В 1937 г. молодой ученый защитил кандидатскую диссертацию «Пробой твердых диэлектриков».

## **Основатель физики полимеров**

В середине 1930-х гг. Александров увлекся новым для того времени направлением науки — физикой полимеров. Вместе со своими сотрудниками и в творческом контакте с П.П. Кобеко ученый получил результаты, позволившие установить общие для всех полимеров закономерности и выявить связи между механическими и электрическими релаксационными процессами. Работы этого цикла, выполненные в 1933–1941 гг., составили основу докторской диссертации А.П. Александрова «Релаксация в полимерах», которую он защитил 27 июня 1941 г. Результаты имели важное практическое значение. В частности, были созданы морозостойкие резины на основе отечественного синтетического каучука, найдено техническое применение полистирола — полимерного диэлектрика, впервые детально исследованного ученым.

## **Противоминная защита**

В годы Великой Отечественной войны Анатолий Петрович возглавил работы по защите кораблей от магнитных мин. Научные основы метода защиты были заложены под его руководством еще в предвоенные годы. Сотрудничество ученого с военными моряками началось в 1932 г., когда он создал электродуговой прорезатель противолодочных сетевых заграждений «Сом».

В работе над противоминной защитой кораблей принимали участие многие сотрудники Физико-технического института, в том числе И.В. Курчатова. За разработку метода и технологии размагничивания кораблей



Анатолий Александров — молодой ученый Физтеха

Анатолию Петровичу Александрову и его ближайшим соратникам в 1942 г. присудили Сталинскую премию I степени.

### Урановая проблема: начало

В 1942 г. в Советском Союзе начались работы по «урановой проблеме» — созданию атомного оружия. В конце войны, будучи уже известным ученым, членом-корреспондентом Академии наук СССР (с 1943 г.), Анатолий Александров по приглашению Курчатова активно включился в эту работу и вскоре стал одним из ее ведущих участников.

Постановлением Совета Министров СССР от 17 августа 1946 г. А.П. Александров был назначен директором Института физических проблем (ИФП) АН СССР. В Москву из ЛФТИ была переведена в полном составе с оборудованием и материалами и вся его лаборатория.

Требовалось срочно мобилизовать на выполнение заданий атомного проекта ученых Института физических проблем, включая теоретический отдел, который был в то время одним из сильнейших в стране. Теоретиков во главе со Львом Давидовичем Ландау подключили к расчетным работам по атомному оружию, а экспериментаторы по заданию Игоря Васильевича Курчатова изучали ядерные константы материалов для бомбы.

Под руководством Александрова был выполнен комплекснейших работ, включая исследования по термодиффузионному разделению изотопов, а также получение

дейтерия и трития. С 1948 г. Анатолий Петрович принимал активное участие в разработке промышленных реакторов. При этом научные направления, ранее развивавшиеся в ИФП под руководством его первого директора академика П.Л. Капицы, были полностью сохранены.

### Правая рука

19 сентября 1949 г. Александров был назначен заместителем директора Лаборатории измерительных приборов Академии наук СССР (ЛИПАН) И.В. Курчатова, как с 4 сентября 1949 г. называлась Лаборатория № 2. Официально он руководил научной частью, оставаясь по совместительству директором ИФП. С марта 1955 г. Анатолий Петрович полностью сосредоточился на работе в ЛИПАН, где стал правой рукой И.В. Курчатова.

Еще в 1948 г. Александров внес в Спецкомитет, возглавляемый Берией, предложение начать работы по проектированию подводных лодок с ядерными энергетическими установками, но тогда это было признано несвоевременным, т.к. отвлекало силы от разработки атомной бомбы. В августе 1952 г. в правительство была направлена докладная записка, подписанная И.В. Курчатовым, А.П. Александровым и Н.А. Доллежалем, с обоснованием необходимости и возможности строительства атомной подводной лодки (АПЛ). Это предложение было принято, и 9 сентября Сталин подписал Постановление Совета Министров СССР, в соответствии с которым Александров был назначен научным руководителем разработки проекта АПЛ и ее ядерной энергетической установки. Первая отечественная атомная подводная лодка «Ленинский комсомол» в августе 1957 г. была спущена на воду, а 17 января 1959 г. передана в состав Военно-морского флота. За ней последовали более совершенные разработки.

Созданные под научным руководством А.П. Александрова атомные подводные лодки трех поколений и надводные корабли с ядерными энергетическими установками стали одной из важнейших составляющих стратегического паритета между двумя сверхдержавами.

### Мирный атом

Совместно с Курчатовым Александров подготовил Постановление Правительства от 28 ноября 1953 г. о проектировании и строительстве атомного ледокола и был назначен научным руководителем проекта. В декабре 1959 г. первый в мире атомный ледокол «Ленин» был принят Министерством морского флота СССР в опытную эксплуатацию. За эту работу Анатолий Петрович в 1960 г. получил вторую звезду Героя Социалистического Труда. Всего при его жизни было построено восемь атомных ледоколов и атомный лихтеровоз. Создание уникального флота, способного решать важнейшие народнохозяйственные задачи страны в экстремальных условиях полярных морей, — это еще одна огромная заслуга ученого.

В 1960 г. умер Курчатов, и Институт атомной энергии возглавил академик Александров. Несмотря на все сложности, новый директор сумел сохранить в институте

творческую, демократичную атмосферу и, главное, его единство, что было делом не само собой разумеющимся: мешали разноплановость научных направлений отделов ИАЭ и стремление их руководителей к самостоятельности.

Анатолий Петрович по-прежнему оставался научным руководителем важнейших направлений работ по созданию ядерных реакторов различного назначения. Александрову все удавалось потому, что он работал со многими талантливыми реакторщиками, такими как академики Н.С. Хлопкин, Н.Н. Пономарев-Степной, член-корреспондент РАН В.А. Сидоренко, доктора наук С.А. Скворцов, С.М. Фейнберг, Я.В. Шевелев, Г.А. Гладков, Н.Е. Кухаркин и ряд других.

### Не физикой единой

В трудные для отечественной биологии 1950-е гг. Александров вместе с Курчатовым поддержал слабые ростки зарождавшейся тогда молекулярной генетики. В институте был создан радиобиологический отдел, позднее выделенный в самостоятельный институт (ныне — Институт молекулярной генетики Российской академии наук) и ставший в стране одним из ведущих центров в этой области биологических исследований.

В 1960-х гг. исследования по термоядерному синтезу находились на переднем крае научно-технического прогресса. Для термоядерных экспериментальных установок нужны были новые материалы и технологии

(глубокий вакуум, мощные магнитные поля, высокие температуры, большие потоки быстрых нейтронов), и Александров создает новое подразделение — Отдел физики твердого тела (его возглавил член-корреспондент РАН Н.А. Черноплеков), где теоретически и экспериментально исследовались материалы для термоядерных установок. Специалисты этого отдела разработали, в частности, сверхпроводниковые материалы, которые использовались в магнитных обмотках термоядерных установок типа «токамак». По инициативе директора в Институте открывались и успешно развивались новые научные направления, например водородная энергетика. Этими работами руководил академик В.А. Легасов.

### Эра ядерного топлива

В 1950-е гг. целенаправленно занимаясь атомным флотом, Анатолий Петрович принимал активное участие в подготовке важнейших решений по разработке реакторов для атомных электростанций. Постановлением Совета Министров СССР от 15 марта 1956 г. предусматривались строительство и пуск в 1956–1960 гг. нескольких атомных электростанций с реакторами различных типов. Приказами министра среднего машиностроения в марте и августе 1956 г. А.П. Александров был назначен научным руководителем по реакторным установкам ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор — реактор с водой под давлением) и ВК-50 (реактор водяной кипящий).



Во время визита в США



Академики И.В. Курчатов и А.П. Александров в Институте атомной энергии

После пуска головных блоков на Нововоронежской и Белоярской АЭС и реактора ВК-50 в Димитровграде была принята программа дальнейшего развития атомной энергетики в стране. В 1966 г. на Александра было возложено научное руководство работами по созданию водо-водяных реакторов единичной мощностью 400 МВт (эл.) и уран-графитовых типа РБМК мощностью 1000 МВт (эл.).

В 1968 г. Анатолий Петрович выступил с генеральным адресом на Мировой энергетической конференции в Москве. Советский ученый изложил свои взгляды на стратегию развития атомной энергетики. Одну из важнейших целей он видел в том, чтобы уменьшать долю сжигаемого органического топлива, в первую очередь нефти и газа. Для этого необходимо было повысить надежность ядерных источников и выйти за пределы электроэнергетического сектора топливно-энергетического комплекса. Необходимо было создать ядерные реакторы, способные давать вместо нефти и газа нужный энергоноситель для металлургов, химиков, транспортников, для коммунальной сферы.

В долгосрочном плане это требовало надежного обеспечения страны ядерным топливом посредством создания реакторов на быстрых нейтронах в оптимальном сочетании с реакторами на тепловых нейтронах. Такая структура атомной энергетики с учетом перспектив, открываемых перед человечеством управляемым термоядерным синтезом, смогла бы обеспечить почти неограниченное энергоснабжение. Время подтвердило правильность рассуждений и выводов А.П. Александра.

### Александровский стиль

Избрание А.П. Александра в ноябре 1975 г. президентом Академии наук СССР подтвердило его высокий авторитет среди специалистов в различных областях науки. Выбор оказался удачным, поскольку при широкой эрудиции, глубоком здравомыслии и восприимчивости Анатолия Петровича ко всему новому и прогрессивному ему удалось привнести «александровский» стиль в самые разные направления исследований.

Будучи председателем научно-технического совета Министерства среднего машиностроения СССР, он также возглавлял ряд важнейших научных советов при Академии наук СССР, в президиум которой вошел еще в 1960 г. Кроме того, Александров входил в состав множества межведомственных научных советов и комиссий.

Гигантский диапазон деятельности определял его рабочий график. Ученый часто засиживался в своем кабинете до 11 часов вечера. Как президента Академии наук его отличала особая открытость и доступность людям, демократичность. Он был весьма легок на подъем, охотно ехал туда, где появлялось что-то новое, открывалась возможность узнать ранее не известное, найти ему применение. Трудно назвать уголок Советского Союза, где бы он не побывал. И практически любой его визит заканчивался конкретными решениями, новыми программами исследований, серьезным обсуждением перспектив развития того или иного института, КБ, завода, вуза.



Совет по гидрофизике АН СССР, Севастополь, начало 1970-х гг.



А.П. Александров с начальником Управления кораблестроения адмиралом П.Г. Котовым

### Беда не приходит одна

Человек интеллигентный, демократичный, коммуникабельный, с развитым чувством юмора, Александров был чрезвычайно прост со всеми, с кем приходилось общаться, — от лаборантов до высших руководителей КПСС. Большинство из них звали академика просто А.П. В семье (а у Александра было четверо детей) к дням рождения писались стихи, поэмы, сценарии для домашних спектаклей. Особенно талантливо это делала супруга — Марианна Александровна. Ее болезнь и смерть совпали с Чернобыльской аварией. Анатолий Петрович обе трагедии перенес мужественно. Пост президента академии наук и директора ИАЭ покинул по своей воле, хотя очень переживал, потому что не мыслил себя без большой и важной работы.

Чернобыльскую катастрофу Анатолий Петрович воспринял как личную трагедию, но она не сломила его. Он мобилизовал коллектив курчатовцев на ликвидацию последствий аварии и, несмотря на преклонный возраст, сам принял участие в этой работе. Его кабинет в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова стал штабом, из которого осуществлялось управление научными силами страны для решения неотложных задач. Отсюда направлялись в Чернобыль лучшие научные и инженерные силы института и всей страны, передавались результаты расчетов, советы и отдавались приказы. Здесь накапливалась информация, превращаясь в технические задания и проекты, методики измерений, планы мероприятий. Неоднократно выезжал в Чернобыль и сам Анатолий Петрович.

До последних дней жизни (академик Александров умер 3 февраля 1994 г.), находясь на посту почетного директора Курчатовского института, ученый не расставался с любимым делом. Допоздна не гас свет в его рабочем кабинете. К нему приходили сотрудники института, моряки, военные, приезжали ученые из Москвы, Ленинграда и самых отдаленных уголков России и ближнего зарубежья. Он ставил задачи, обсуждал полученные результаты и планы новых работ. По-другому жить ученый не мог.

Анатолий Петрович Александров принадлежит к замечательной плеяде деятелей отечественной науки и техники, масштабы и результаты труда которых переоценить невозможно. Огромный вклад Анатолия Петровича Александра, внесенный в развитие научно-технического потенциала, укрепление экономики и обороноспособности страны, стал возможен благодаря уникальному сочетанию талантов ученого-физика и организатора науки с лучшими человеческими качествами — глубокой порядочностью, бескорыстием и доброжелательностью, обостренным чувством ответственности. Это был жизнерадостный и скромный человек, неизменно требовательный к себе и своим коллегам, по-настоящему любивший свою страну.

По материалам биографического очерка в первом томе Собрания научных трудов А.П. Александра  
Подготовила Мария Афанасьева



**Лев Андреевич  
АРЦИМОВИЧ**  
(1909–1973)

**А**кадемик АН СССР, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской, Сталинской, Государственной премий СССР, награжден тремя орденами Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, другими орденами и медалями.

Лев Андреевич Арцимович родился 25 февраля 1909 г. в Москве. Во время Гражданской войны семья очень бедствовала и в 1919 г., гонимая голодом, переехала в более благополучную Белоруссию. Родители вынуждены были отдать сына в детский дом, откуда он сбежал и некоторое время был беспризорным. После окончания войны положение семьи постепенно улучшилось. В 1922 г. отец был приглашен на должность заведующего кафедрой статистики в Белорусский государственный университет. В 1924 г. Арцимович поступил на физико-математическое отделение Белорусского университета, который окончил в 1928 г.

По окончании университета около года провел в Москве, работая в различных библиотеках для повышения образования. В 1929 г. защитил в Белорусском государственном университете дипломную работу, а затем переехал в Ленинград и в 1930 г. поступил на работу в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ) на должность сверхштатного препаратора. Арцимович начал свою научную работу в рентгенографическом

отделе ЛФТИ, но через полгода перешел в отдел электронных явлений и рентгеновских лучей, руководимый П.И. Лукирским.

Научная деятельность Л.А. Арцимовича началась в 1930 г. в Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ) АН СССР, руководимом А.Ф. Иоффе. В 1935 г. совместно с И.В. Курчатовым впервые строго доказал путем эксперимента, что поглощение медленных нейтронов в водородсодержащих веществах обусловлено реакцией захвата нейтрона протоном. В 1935 г. совместно с А.И. Алихановым и А.И. Алиханьяном экспериментально доказал справедливость законов сохранения энергии и импульса при аннигиляции позитронов.

Центральной темой его исследований в ЛФТИ стало изучение процессов взаимодействия быстрых электронов с веществом.

В годы Великой Отечественной войны Л.А. Арцимович занимался исследованиями в области электронной оптики, связанными с созданием электронно-оптических систем. В 1944 г. И.В. Курчатов привлек Л.А. Арцимовича к работам по атомной проблеме. С июля 1944 г. Л.А. Арцимович — научный консультант, руководитель сектора, с 1947 г. — заместитель директора Лаборатории № 2 АН СССР и начальник отдела «А», который занимался проблемой электромагнитного разделения изотопов урана. За достигнутые успехи в 1953 г. Л.А. Арцимович был удостоен Сталинской премии.

В 1946 г. Л.А. Арцимович был избран членом-корреспондентом, а в 1953 г. — действительным членом АН СССР. С 1951 г. Л.А. Арцимович — руководитель исследований по физике высокотемпературной плазмы и проблеме управляемого термоядерного синтеза в СССР.

В 1952 г. он с сотрудниками добился первых успехов: в газовом разряде были получены нейтроны и было установлено их не термоядерное происхождение.

В отделе плазменных исследований Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, руководимом Л.А. Арцимовичем, выполнены основополагающие работы по проблеме управляемого термоядерного синтеза. К ним относятся открытие и исследование плазменного фокуса, экспериментальное доказательство существования желобковой неустойчивости плазмы и стабилизирующего действия «магнитной ямы», получение макроскопически устойчивого высокотемпературного плазменного шнура в замкнутых тороидальных системах «токамак» и осуществление в этих системах физической термоядерной реакции.

В 1966 г. подписал письмо 25 деятелей культуры и науки Генеральному секретарю ЦК КПСС Л.И. Брежневу против реабилитации Сталина. Л.А. Арцимович был одним из основателей Пагуошского движения ученых.

Ежегодно президиум Российской академии наук присуждает премию им. Л.А. Арцимовича за лучшие работы по экспериментальной физике. ■



**Евгений Константинович  
ЗАВОЙСКИЙ**  
(1907–1976)

**А**кадемик АН СССР, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий.

Е.К. Завойский родился 28 сентября 1907 г. в Могилеве-Подольском в семье военного врача, впоследствии доктора медицины. В 1926 г. окончил школу и поступил на физико-математический факультет Казанского государственного университета. Еще в студенческие годы у Е.К. Завойского зародилась идея об использовании электромагнитных излучений радиодиапазона для исследования вещества подобно тому, как это делается в оптике.

В марте 1931 г. Е.К. Завойский уехал в Ленинград, где в течение восьми месяцев занимался в Центральной радиолоборатории исследованием суперрегенеративного радиоприемника. Параллельно работал над синфазным генератором УКВ.

Е.К. Завойский — один из пионеров исследования физических и химических действий ультракоротких волн на вещество. Эти исследования проводились в специально учрежденной лаборатории УКВ, а в 1934 г. он был назначен ее руководителем по приказу из Наркомпроса. В ходе экспериментов Евгений Константинович доказал, что обнаруженные им эффекты отражают определенные внутримолекулярные процессы, позволяя описать дета-

ли структуры молекул. В результате была разработана методика для дальнейших исследований магнитных резонансов.

В 1940 г. Евгений Константинович начал поиски ядерного магнитного резонанса. Война задержала развитие исследований. Только в конце 1943 г. Е.К. Завойский получил возможность возобновить свои эксперименты. В 1944 г. Е.К. Завойским было открыто новое фундаментальное явление — электронный парамагнитный резонанс.

В 1944 г. Е.К. Завойский выступил с докладом на семинаре у П.Л. Капицы. Петр Леонидович предоставил ему возможность осуществить эксперименты в Институте физических проблем. Четверть века спустя, 23 июня 1970 г. Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР внес в Государственный реестр СССР открытие Е.К. Завойского «Явление электронного парамагнитного резонанса». Эта дата считается официальной датой открытия ЭПР, что стало одним из важнейших событий в физике XX в.

Уже вскоре после опубликования первых работ Е.К. Завойского началось интенсивное развитие исследований в этой области. Во всем мире на основе использования метода ЭПР возникли и выросли многие научные центры. Вслед за ЭПР были открыты ядерный магнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс, ядерный квадрупольный резонанс, магнитный акустический резонанс, многие виды двойных резонансов. В промышленно развитых государствах образовалась целая индустрия, выпускающая радиоспектроскопическое оборудование. Физика магнитных явлений, физика твердого тела, физика жидкостей, неорганическая химия, минералогия, биология, медицина — это далеко не полный перечень наук, успехи которых так или иначе связаны с использованием ЭПР. Парамагнитный резонанс привел к впечатляющему прогрессу в технике. Примером могут служить квантовые парамагнитные усилители, признанные принципиально лучшими устройствами такого рода. С их помощью осуществляется дальняя космическая связь.

В 1947 г. Е.К. Завойский по приглашению И.В. Курчатова переехал в Москву, оставив блестяще развивавшуюся тематику ЭПР, и перешел в московскую Лабораторию измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН). В конце августа 1947 г. был переведен в КБ-11 (Арзамас-16), где участвовал в работах по созданию атомной бомбы. Из Арзамаса уехал в 1951 г. и вернулся в ЛИПАН. За кратчайший срок Евгений Константинович, которого коллеги называли чародеем эксперимента, стал одним из ведущих специалистов в области ядерной физики и обогатил ее достижениями, не уступающими по своему значению открытию электронного парамагнитного резонанса. ■



**Исаак Константинович  
КИКОИН  
(1908–1984)**

**А**кадемик АН СССР, дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской, Сталинских и Государственных премий СССР, награжден шестью орденами Ленина, орденом Трудового Красного Знамени, орденом Красной Звезды, орденом Октябрьской революции, золотыми медалями им. И.В. Курчатова и им. П.Н. Лебедева АН СССР.

Исаак Константинович Кикоин родился 28 марта 1908 г. в Жагорах (Литва). С 1915 г. с семьей проживал в Псковской губернии. В 1923 г. в возрасте 15 лет Исаак закончил школу в Пскове и поступил сразу на третий курс Псковского землеустроительного техникума, который окончил в 1925 г. В этом же году поступил в Ленинградский политехнический институт. Будучи студентом, начал работать в Ленинградском физико-техническом институте.

После окончания в 1930 г. Ленинградского политехнического института работал в Ленинградском физико-техническом институте, которым руководил академик А.Ф. Иоффе.

В 1930 г. проходил стажировку в физических лабораториях Германии и Голландии. С 1936 г. работал в Уральском физико-техническом институте, с 1943 г. в Лаборатории № 2 АН СССР. И.К. Кикоиным были открыты эффекты, вошедшие в науку под его именем.

В 1933 г. совместно с М.М. Носковым И.К. Кикоин открыл явление фотоэлектромагнитного эффекта, названного эффектом Кикоина — Носкова. Исследования эффекта Холла в ферромагнетиках привели к открытию аномального эффекта Холла — Кикоина в ферро- и парамагнетиках.

В годы Великой Отечественной войны под руководством И.К. Кикоина была разработана и принята на вооружение система мин, реагирующих на изменение магнитного поля от проходящего танка или другого вида машин, за что он в 1942 г. был удостоен Сталинской премии СССР.

И.К. Кикоин — один из первых физиков, с которыми И.В. Курчатов приступил в 1943 г. к анализу и разработке всего комплекса работ по атомной проблеме. Активно участвовал в создании Лаборатории № 2, был заместителем И.В. Курчатова, научным руководителем одного из ведущих направлений урановой проблемы разделения изотопов урана диффузионным методом. При его участии был построен Уральский электрохимический комбинат, научным руководителем которого он был много лет.

В 1943 г. И.К. Кикоин был избран членом-корреспондентом, а в 1953 г. — действительным членом АН СССР.

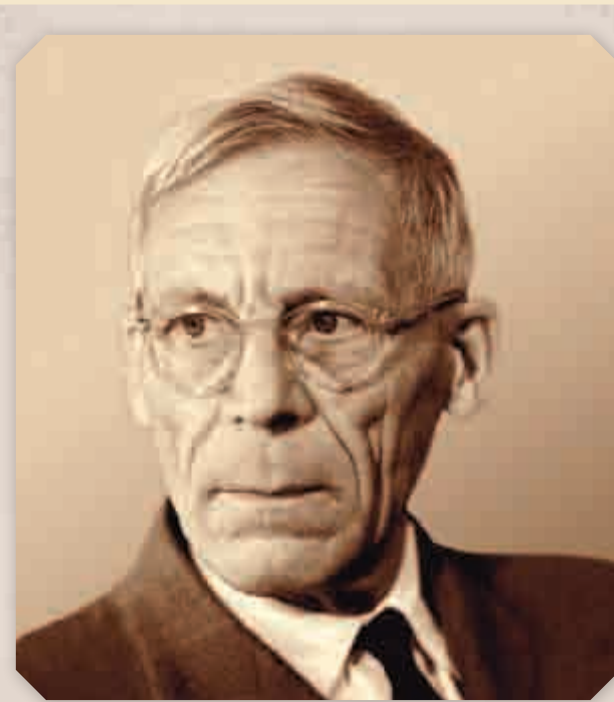
В 1950-х гг. под руководством И.К. Кикоина была решена проблема дистанционной регистрации атомных и водородных взрывов. Проведенные исследования сыграли большую роль при заключении соглашения о запрещении испытаний ядерного оружия в открытом пространстве.

В начале 1960-х гг. в промышленности был внедрен разработанный под научным руководством И.К. Кикоина новый центробежный метод разделения изотопов урана, имеющий существенное преимущество по сравнению с диффузионным методом — низкую энергоемкость.

В 1956–1965 гг. им проведены широкие исследования фотоэлектромагнитного эффекта в монокристаллах германия и кремния, открыта анизотропия этого эффекта, в 1966 г. обнаружен фотопьезоэлектрический эффект.

В 1966 г. И.К. Кикоин впервые в мире наблюдал квантовые осцилляции фотомагнитного эффекта при низких температурах, открыл аномально большой эффект Холла в сплаве хром-теллур.

С 1965 г. И.К. Кикоин был председателем Комиссии по школьным программам по физике. Автор учебников по физике для средней школы и вузов, по которым многие занимаются и сейчас. Вместе с академиком А.Н. Колмогоровым в 1970 г. основал уникальный физико-математический журнал «Квант», став его первым главным редактором. Кикоин был не только выдающимся ученым, но и популяризатором науки, стараясь распространять знания среди школьников, студентов, обычных людей, заинтересовать их процессом научного познания мира, в котором мы живем. ■



**Михаил Александрович  
ЛЕОНТОВИЧ  
(1903–1981)**

**А**кадемик АН СССР, лауреат Ленинской премии, награжден тремя орденами Ленина и пятью орденами Трудового Красного Знамени, Золотой медалью им. А.С. Попова АН СССР.

Михаил Александрович Леонтович родился 7 марта 1903 г. в Санкт-Петербурге. В 1923 г. окончил физико-математический факультет МГУ.

До 1951 г. М.А. Леонтович работал в НИИ физики МГУ и в Физическом институте АН СССР. Работы этого периода посвящены теории колебаний, оптике, общей теории относительности, квантовой механике. Вместе с Л.И. Мандельштамом выполнил пионерскую работу по теории туннельного эффекта (1928), участвовал в создании классической теории комбинационного рассеяния света в кристаллах. Сформулировал приближенные граничные условия («граничные условия Леонтовича») для электромагнитного поля на поверхности хорошо проводящих тел, позволивших решить большой класс радиофизических задач. В 1944 г. М.А. Леонтович опубликовал фундаментальную работу по распространению радиоволн вдоль поверхности Земли, заложил основы теории тонких проволочных антенн.

В 1939 г. М.А. Леонтович был избран членом-корреспондентом, а в 1946 г. — действительным членом АН СССР.

С 1951 г. работал в Институте атомной энергии.

В 1951 г. возглавил теоретические исследования по физике плазмы и проблеме управляемого термоядерного синтеза. Ему принадлежит ряд фундаментальных физических идей, в частности по основам теории перспективного термоядерного реактора — токамака.

Под руководством М.А. Леонтовича созданы теория равновесия плазмы, теория магнитогазодинамических и многочисленных кинетических неустойчивостей плазмы, теория классических и аномальных турбулентных процессов в плазме, теория атомных процессов и излучения в высокотемпературной плазме — т.е. все то, что составляет основу современной физики плазмы.

Его идеи об уравнивании тороидального растяжения плазмы с током при помощи проводящего кожуха и о стабилизации плазменного витка сильным магнитным полем легли в основу системы «токамак».

На протяжении многих лет М.А. Леонтович преподавал в МГУ и МИФИ. Он был создателем научных школ по радиофизике и физике плазмы.

В 1958 г. за исследования мощных импульсных разрядов в газе для получения высокотемпературной плазмы М.А. Леонтович был удостоен Ленинской премии. Для всего коллектива физиков, собранного для решения задачи создания термоядерной плазмы, М.А. Леонтович был высшим авторитетом в вопросах не только научных, но и общечеловеческих. Леонтовича называли совестью академии. По сей день бытуют красочные рассказы о том, как на выборах в Академию наук СССР он своей бескомпромиссной позицией создавал непреодолимый барьер для последователей Лысенко и околонуучных карьеристов.

«Представьте себе картину, — вспоминает академик Лев Окунь. — Общее собрание академии в Доме ученых. Рассматривается пункт программы об утверждении на новый срок директора одного химического института. Леонтович не сидит на месте, а прохаживается перед сценой из конца в конец, оглядывая зал. Кажется, что его не особенно интересует разбираемый вопрос. Но вот зачитывают характеристику, где среди прочего отмечается, что за прошедший срок директором выполнено свыше 300 (!) научных работ. Вопрос ставится на голосование. И тут Михаил Александрович просит слова и предлагает не утверждать директора, поскольку «административные обязанности будут мешать его столь плодотворной научной работе». В зале общий смех, а испуганный, покрасневший директор оправдывается: это, мол, сотрудники сами вписывают меня автором, хотя я этого не требую и даже запрещаю... и т.п. В зале новый взрыв смеха. И такие уроки Михаил Александрович давал Академии неоднократно. «Они» имели основание его бояться! А я иногда в трудные минуты стараюсь представить, как бы на моем месте поступил Михаил Александрович Леонтович». ■





Михаил Дмитриевич  
**МИЛЛИОНЩИКОВ**  
(1913–1973)

**А**кадемик АН СССР, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской, Сталинских премий СССР, награжден пятью орденами Ленина, орденом Трудового Красного Знамени, орденом Октябрьской Революции, другими советскими и зарубежными орденами и медалями.

Михаил Дмитриевич Миллионщиков родился 16 января 1913 г. в Грозном в семье токаря железнодорожного депо Северо-Кавказской железной дороги. В 1932 г. окончил Грозненский нефтяной институт. В 1938–1946 гг. работал в Московском авиационном институте (МАИ).

В 1946–1949 гг. был заместителем директора Института механики АН СССР. Научные работы М.Д. Миллионщикова этого периода внесли значительный вклад в теорию турбулентности и теорию фильтрации нефти и газа в пористой среде. Совместно с академиком С.А. Христиановичем М.Д. Миллионщиков стал одним из основоположников отечественной теории газовых эжекторов.

С 1949 по 1973 гг. М.Д. Миллионщиков работал в Лаборатории № 2 АН СССР.

С 1949 г. стал заместителем И.К. Кикоина — научного руководителя работ по разделению изотопов урана в Лаборатории № 2 АН СССР, с 1960 г. — заместителем директора Института атомной энергии им. И.В. Курчатова по научной работе.

Большое практическое и научное значение имеют работы М.Д. Миллионщикова по газодиффузионному и центробежному методам разделения изотопов урана. Под руководством И.К. Кикоина принимал участие в разработке газовой центрифуги с коротким жестким ротором для разделения изотопов урана.

Под руководством Миллионщикова были достигнуты значительные успехи в строительстве высокотемпературных атомных реакторов, развитии магнитогиродинамического (МГД) и термоэлектрического методов преобразования энергии, изучении свойств низкотемпературной плазмы. При его участии начались работы по использованию МГД-метода для создания транспортного импульсного источника энергии.

Миллионщиков был научным руководителем работ по созданию первого в мире термоэлектрического ядерного реактора-преобразователя «Ромашка» (1964), положившего начало космическим реакторным ядерным энергетическим установкам. Под его руководством разрабатывались высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы для энергетики, металлургии, химии и систем морской и космической разведки. Им был предложен один из вариантов гетерогенного реактора на тепловых нейтронах для ЯЭУ «Бук». Первое поколение бортовых ядерных энергетических установок, запущенных в космос в 1970–1980-х гг., успешно работало на орбите, обеспечивая оборону государства и закрепляя лидерство нашей страны в области космической техники и ядерной энергетики.

В 1953 г. М.Д. Миллионщиков был избран членом-корреспондентом, в 1962 г. — действительным членом АН СССР и вице-президентом АН СССР.

Михаил Миллионщиков много лет преподавал в МИФИ и МАИ. В 1949 г. основал в МИФИ кафедру разделения изотопов. Длительное время был главным редактором журналов «Вестник Академии наук СССР», «Атомная энергия», международного ежегодника «Наука и человечество», членом главной редакции Большой советской энциклопедии.

Будучи председателем Советского Пагуошского комитета, М.Д. Миллионщиков способствовал установлению доверительных отношений между учеными Запада и Востока, особенно в период разработки Договора о нераспространении ядерного оружия и Договора об ограничении систем противоракетной обороны, в подготовке которых он принимал активное участие.

Имя академика М.Д. Миллионщикова в 1973 г. было присвоено Грозненскому нефтяному институту. Тогда же в его честь была названа улица в Москве; а в 2009 г. — улица в Грозном, на которой Михаил Дмитриевич жил с рождения и до 1934 г. Президиум Академии наук СССР в 1983 г. учредил премию им. М.Д. Миллионщикова за лучшие работы по популяризации науки. В Троицком институте инновационных и термоядерных исследований была учреждена премия им. М.Д. Миллионщикова за лучшие инженерные работы. ■



Юлий Борисович  
**ХАРИТОН**  
(1904–1996)

**А**кадемик АН СССР, трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Сталинских премий СССР, награжден пятью орденами Ленина, орденом Октябрьской Революции, Большой золотой медалью АН СССР имени М.В. Ломоносова, Золотой медалью АН СССР имени И.В. Курчатова.

Юлий Борисович Харитон родился 27 февраля 1904 г. в Санкт-Петербурге. Его отец, Борис Осипович Харитон, был известным журналистом.

Юлий Борисович в 1925 г. окончил Петроградский политехнический институт. В 1931–1946 гг. возглавлял лабораторию взрывчатых веществ в Институте химической физики АН СССР. В 1943 г. И.В. Курчатов привлек Ю.Б. Харитона к работам по атомному проекту СССР. В 1946–1958 гг. — главный конструктор КБ-11. В 1958–1992 гг. — научный руководитель Всесоюзного научно-исследовательского института экспериментальной физики.

В 1926–1928 гг. Ю.Б. Харитон находился в научной командировке в Кавендишской лаборатории в Кембридже (Великобритания), где работал под руководством Э. Резерфорда и Дж. Чедвика. В 1939–1941 гг. Ю.Б. Харитон и Я.Б. Зельдович впервые осуществили расчет цепной реакции деления урана. В Лаборатории № 2 АН СССР Ю.Б. Харитон был научным руководителем сектора № 3,

учрежденного для проектирования атомной бомбы. В 1946 г. работы по созданию атомной бомбы были перенесены в Саров в филиал Лаборатории № 2 — конструкторское бюро КБ-11.

Ю.Б. Харитон более 46 лет руководил РФЯЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», занимаясь созданием и совершенствованием отечественного ядерного оружия, работал над сокращением веса ядерных зарядов, увеличением их мощности и повышением надежности. В конце 1980-х гг., когда Харитону было уже под 90, он отправил письмо М.С. Горбачеву, где говорилось: «Глубокое беспокойство за судьбу и состояние ядерно-оружейного комплекса нашего государства заставило меня обратиться к вам с этим письмом. Созданный в тяжелые послевоенные годы трудом миллионов советских людей, этот комплекс обеспечил своей продукцией стратегическое равновесие в мире. Советское ядерное оружие стало мощным фактором сдерживания мировых ядерных конфликтов в течение более 40 лет. Ядерный комплекс СССР представляет собой систему, обладающую гигантской военной мощью. Такая система должна находиться под жестким, всеобъемлющим и единым государственным контролем. Никакие двоевластие и неопределенность ответственности в такой системе недопустимы. Поэтому, по нашему мнению, ядерный комплекс должен находиться в ведении центральных структур, обладающих исключительной полнотой власти над комплексом с возможностями ее реального осуществления. Я не считаю себя вправе уйти, не обратившись к вам с просьбой о встрече с несколькими учеными и руководителями ядерно-оружейного комплекса, несмотря на вашу невероятную занятость».

В письме, подготовленном на имя президента России Б.Н. Ельцина в январе 1992 г., когда решался вопрос о состоянии дел в ядерно-оружейном комплексе, предлагалось сохранение единства отрасли и предоставление ВНИИ экспериментальной физики и ВНИИ теоретической физики статуса российских федеральных ядерно-физических центров. Благодаря уникальному организаторскому таланту Харитона проблему удалось решить.

Коллеги вспоминают, что в повседневной жизни Юлий Борисович был скромным и деликатным, что не мешало деловой твердости и целеустремленности. За его сдержанностью скрывалась душа, отнюдь не чуждая поэзии. С ним интересно было поговорить не только о науке, но и об искусстве. Это практически ушедшая натура — энтузиасты, энциклопедисты, патриоты. Такими были практически все крупные ученые — создатели ядерного щита России. ■



# СЛАВА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКЕ!

|   |  |   |   |   |  |   |  |  |  |
|---|--|---|---|---|--|---|--|--|--|
| <br>Вознесенский Иван Николаевич<br>член-корреспондент        | <br>Соболев Сергей Львович<br>академик                   | <br>Алиханов Абрам Исаакович<br>академик                  | <br>Алиханьян Артем Исаакович<br>член-корреспондент       | <br>Боголюбов Николай Николаевич<br>академик              | <br>Курчатов Игорь Васильевич<br>академик          | <br>Александров Анатолий Петрович<br>академик         | <br>Леонтович Михаил Александрович<br>академик           | <br>Арцимович Лев Андреевич<br>академик                  | <br>Харитон Юлий Борисович<br>академик                 |
| <br>Флоров Георгий Николаевич<br>академик                     | <br>Щелкин Кирилл Иванович<br>член-корреспондент         | <br>Минц Александр Львович<br>академик                    | <br>Миллиончиков Михаил Дмитриевич<br>академик            | <br>Будкер Герш Ицкович<br>академик                       | <br>Духов Николай Леонидович<br>член-корреспондент | <br>Кикоин Исаак Константинович<br>академик           | <br>Кружилин Георгий Никитич<br>член-корреспондент       | <br>Мещеряков Михаил Григорьевич<br>член-корреспондент   | <br>Сахаров Андрей Дмитриевич<br>академик              |
| <br>Мигдал Аркадий Бейнузович<br>академик                     | <br>Сагдеев Рольд Зиннурович<br>академик                 | <br>Беляев Спартак Тимофеевич<br>академик                 | <br>Гуревич Исай Израилевич<br>член-корреспондент         | <br>Сидоров Вениамин Александрович<br>член-корреспондент  | <br>Кадоццев Борис Борисович<br>академик           | <br>Большев Логин Николаевич<br>член-корреспондент    | <br>Велихов Егений Павлович<br>академик                  | <br>Хесин-Лурье Роман Бениаминович<br>член-корреспондент | <br>Галицкий Виктор Михайлович<br>член-корреспондент   |
| <br>Легасов Валерий Алексеевич<br>академик                    | <br>Нестерихин Юрий Ефремович<br>академик                | <br>Сидоренко Виктор Алексеевич<br>член-корреспондент     | <br>Афанасьев Александр Михайлович<br>член-корреспондент  | <br>Барков Лев Митрофанович<br>академик                   | <br>Каган Юрий Моисеевич<br>академик               | <br>Мостовой Владимир Иосифович<br>член-корреспондент | <br>Письменный Вячеслав Дмитриевич<br>член-корреспондент | <br>Николюский Борис Александрович<br>член-корреспондент | <br>Пономарев-Степной Николай Николаевич<br>академик   |
| <br>Баранов Владимир Юрьевич<br>член-корреспондент            | <br>Ларкин Анатолий Иванович<br>академик                 | <br>Черноплеков Николай Алексеевич<br>член-корреспондент  | <br>Дыхне Александр Михайлович<br>академик                | <br>Русанов Владимир Дмитриевич<br>академик               | <br>Хлопкин Николай Сидорович<br>академик          | <br>Чириков Борис Валерианович<br>академик            | <br>Пономарев Леонид Иванович<br>член-корреспондент      | <br>Бетелин Владимир Борисович<br>академик               | <br>Большов Леонид Александрович<br>член-корреспондент |
| <br>Коршенинников Алексей Александрович<br>член-корреспондент | <br>Максимов Леонид Александрович<br>член-корреспондент  | <br>Шафранов Виталий Дмитриевич<br>академик               | <br>Ковальчук Михаил Валентинович<br>член-корреспондент   | <br>Румянцев Александр Юрьевич<br>академик                | <br>Феоктистов Лев Петрович<br>академик            | <br>Фридман Алексей Максимович<br>академик            | <br>Веденов Александр Алексеевич<br>член-корреспондент   | <br>Мясоедов Николай Федорович<br>академик               | <br>Смирнов Валентин Пантелеймонович<br>академик       |
| <br>Гвоздев Владимир Алексеевич<br>академик                   | <br>Анохин Константин Владимирович<br>член-корреспондент | <br>Величковский Борис Митрофанович<br>член-корреспондент | <br>Квардаков Владимир Валентинович<br>член-корреспондент | <br>Михайловский Анатолий Борисович<br>член-корреспондент | <br>Нарайкин Олег Степанович<br>член-корреспондент | <br>Панченко Владислав Яковлевич<br>академик          | <br>Скрябин Константин Георгиевич<br>академик            | <br>Аксенов Виктор Лазаревич<br>член-корреспондент       | <br>Попов Владимир Олегович<br>член-корреспондент      |

# ВОСПОМИНАНИЯ

## Виктор Алексеевич Сидоренко

Я пришел в ЛИПАН старшим лаборантом в 1952 г., Игорь Васильевич умер в 1960 г. Восемь лет — и не много, и не мало. Характер взаимодействия определялся кругом занимавших его проблем, стилем поведения, формой работы с сотрудниками института, вниманием к молодым.

<...> Первое, несколько необычное поручение Борода дал накануне Первой Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. <...>

Наш МР с графитовым замедлителем выглядел несколько старомодным. Выступать на конференции с советским докладом должен был Георгий Никитович Кру-

# КУРЧАТОВЦЕВ

жилин. Пригласив меня в кабинет, Курчатов сформулировал задачу в своем духе: «Ты читал оба доклада и видишь выигрышность американского реактора. Нужно выявить и подчеркнуть достоинства нашей конструкции, чтобы она была представлена достойно. Эти старые песочники ничего толкового не сделают. Садись и пиши

тезисы устного представления доклада на конференцию». (Уместно напомнить, что «старому песочнику» Георгию Никитовичу было тогда 43 года.) Мне кажется, я справился с заданием. В качестве основного достоинства нашей конструкции и в частности преимущества выбора графита как замедлителя были названы существенно более благоприятные условия размещения в активной зоне петлевых каналов с различными теплоносителями для испытания опытных тепловыделяющих элементов.

## Юрий Васильевич Сивинцев

<...> Получив по окончании физфака МГУ направление на работу, направляюсь искать, как потом узнал, Лабораторию № 2 Академии наук. <...>

<...> Пока идет «оформление на работу», а оно протянулось около полутора месяцев, регулярно названиваю в отдел кадров и иногда получаю указания явиться на встречу с кем-либо из ведущих сотрудников лаборатории. Ошеломляющей была встреча с Г.Н. Флеровым, имя которого не мог не знать из истории ядерной физики. Немного прояснило будущее беседа с Л.В. Грошевым, читавшем у нас на последнем семестре курс спектроскопии. Другие, столь же молодые и энергичные, были незнакомы... Как правило, каждая встреча начиналась вопросами — чем бы хотел заниматься и почему. Выполнив дипломную работу по широтным ливням космических лучей, я пел дифирамбы этой физике и, как теперь понимаю, немногим из собеседников казался полезным в их работах по физике реакторов. Эта тягостная по неопределенности пора закончилась тем, что я получил допуск и был назначен в сектор № 7 к Г.Н. Флерову. <...> Здесь и произошла моя первая, случайная встреча с Игорем Васильевичем.

## Андрей Юрьевич Гагаринский

В многолетней ядерной гонке Советский Союз установил некоторые известные миру рекорды. В 1970 г. на ходовых испытаниях АПЛ «К-162» проекта 661, названной во флоте «Золотой рыбкой» (американцы называли ее «Серебряный кит»), был установлен мировой рекорд скорости подводного хода — 44,7 узла (около 83 км/ч), не превзойденный до сих пор.

Стоит сказать несколько слов, в каких условиях был установлен этот рекорд. Место и время (начало декабря) были, мягко говоря, не слишком подходящим для ходовых испытаний. Моряки говорят, что это было связано со спешкой: приближался день рождения Генерального секретаря (Л.И. Брежнев родился 19 декабря), и ему готовился подарок. Глубина Белого моря в районе полигона составляла 200 м. Малейшая ошибка в управлении рулями, и через 20 секунд нос атомохода врежется в лед или грунт. Пилотаж шеститысячетонного болида длиной более 100 м в таких условиях требовал исключительной точности. Но он был безупречным, и рекорд состоялся. ■



Первый ряд: В.И. Ожогин, Н.Е. Кухаркин, И.И. Ларин, В.С. Муховатов, К.А. Разумова, А.А. Дроздов (стоит).

Второй ряд: В.С. Стрелков, А.Ф. Яшин, В.А. Сидоренко, Е.П. Рязанцев, Ю.В. Сивинцев, Е.П. Горбунов, В.А. Усов, В.М. Федюленко, А.Ю. Гагаринский.

# Первым делом — технологии, публикации — ПОТОМ

*О роли Курчатовского института в истории отечественной науки, о его настоящем и будущем рассказывает академик РАН, Герой Социалистического Труда, президент Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
Евгений Велихов*

## **С Курчатника выдачи нет**

Здесь, в Курчатовском институте, прошла вся моя жизнь. Когда я учился на третьем курсе МГУ, к нам по указанию И.В. Курчатова пришел отбирать талантливых студентов его первый заместитель Игорь Николаевич Головин. У меня были тогда неплохие показатели в олимпиадах, призы за изготовление различных приборов. Игорь Николаевич пригласил меня в Курчатовский институт на преддипломную практику. Время до окончания физфака у меня было довольно продуктивное — я в 1959 г. опубликовал статью об устойчивости вращения проводящей жидкости в магнитном поле, которая у меня до сих пор остается самой цитируемой (сейчас это называется магниторотационная неустойчивость).

Но в это же время известный физик, помощник академика Ю.Б. Харитона Виктор Гаврилов подбирал команду для организации второго после Сарова ядерного центра, Челябинска-50 (сегодня ЗАТО Снежинск. — Прим. ред.). Подбирал методом пряника и кнута — сначала увещевал, уговаривал, а на тех, кто не соглашался, на меня в том числе, давили довольно жестко. Я уже начал работать в Курчатовском институте, мне здесь

нравилось, к тому же я собирался жениться. Чтобы остаться, выход был один — аспирантура, но в университетскую меня не приняли, потому что я на третьем курсе был исключен из профсоюза за неуплату взносов по принципиальным соображениям, так что аспирантура Курчатовского института стала в прямом смысле моим спасением, и тут помог лично Игорь Васильевич Курчатов. С самим Курчатовым мне довелось общаться уже в последние годы его жизни. Он вообще был достаточно доступным и контактным человеком. Мог прийти и поговорить даже с таким зеленым юнцом, каким я был тогда, если было нужно по делу.

Игорь Васильевич и Курчатовский институт с самого начала в рамках атомного проекта генерировали огромное количество новых научных идей, направлений, которые затем выросли в самостоятельные лаборатории, институты. Поэтому когда я говорю «Курчатовский институт», то имею в виду и Дубну, и Саров, и Протвино, и Гатчину и т.д. Все они изначально возникали в недрах этого детища Курчатова и уже потом, повзрослев и возмужав, отпочковывались и образовывали новые мощные научные институты.



Главное здание Курчатовского института

Иногда Игоря Васильевича называют «русским Оппенгеймером», что, с моей точки зрения, в корне не верно. Игорь Васильевич был экспериментатором, он любил и понимал эксперимент, делал реальные вещи, лез в шахту, измерял там спонтанный распад урана и т.д. Доверие к ученым в СССР, каким бы странным это ни показалось, в чем-то было значительно выше, чем в Америке.

Вообще говоря, уникальную кадровую основу института заложил даже не Игорь Васильевич, а Абрам Федорович Иоффе. Он перевел сюда почти всю гениальную физтеховскую школу: Курчатова, Кикоина, Арцимовича, Александрова — лучших своих учеников. Некоторое время он лично курировал их работу, прикрывал, так сказать, и только затем полностью передал руководство Курчатову.

Сейчас говорят, что молодых надо продвигать, но что это значит? Никакие стипендии, премии или награды не сделают студента ученым. Единственный путь — поручить человеку дело, чтобы он работал над ним дено и ночно. Игорь Васильевич собрал вокруг себя замечательный коллектив молодых специалистов, которые очень быстро становились руководителями групп, лабораторий и целых направлений. Сегодняшние руководители основных подразделений института почти все тоже начинали когда-то здесь молодыми специалистами.

Главное знание приходит через конкретную работу над конкретным проектом и с конкретными людьми. И очень важно вовремя найти этих людей. Благодаря Федеральному закону о Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» мы имеем в своем составе четыре института, представляющих значительную часть ядерно-физического потенциала страны. Сегодня мы — уникальный научный комплекс. Поскольку

сняты внутренние преграды, вы можете найти здесь нужного специалиста практически по любой научной проблеме — от темной материи до когнитивных исследований. Одна из особенностей Курчатовского института как раз заключается в том, что когда у вас появляется какая-нибудь свежая идея, то, оглядевшись вокруг, обязательно найдешь в каком-то из подразделений ученого, кто этим вопросом уже занимается, и он вам объяснит, что надо делать.

### Технологии, которых не было

Курчатовский институт стоит на трех китах: глубинной фундаментальной науке, нашей научной школе и изначально заложенной «смычке» с производством. Курчатовский институт был образован для решения военно-производственной задачи по созданию атомной бомбы, что мы и сделали в самые сжатые сроки.

Традицией Курчатовского института была и остается ориентированность не на публикации и цитируемость, а на практический результат. Конечно, публикации важны, но для курчатовцев главным всегда было создать такой новый материал, научный подход, мегаустановку, которые укрепят мощь страны, ее обороноспособность, помогут людям, науке, новой промышленности. По воспоминаниям Курчатова, одна дама, заполняя анкету при поступлении на работу в институт, в графе «род занятий» написала: «Занятия были, но родов не последовало». Так вот, с точки зрения наших отцов-основателей, «роды» должны быть обязательно, и все поколения курчатовцев этому следуют. Атомная бомба, первая в мире АЭС, атомная подводная лодка, первый в мире атомный ледокол, первая в мире термоядерная бомба, первый в мире токамак, нейтронный реактор ИР-8, технологии

сверхпроводимости, микроэлектроники, информационных технологии, суперкомпьютер, единственный в СНГ специализированный синхротрон, уникальный НБИКС-центр — это только простое перечисление основных наших достижений.

Здесь, на окраине Москвы, в 1940–1950-х гг. создавались новые атомная наука и промышленность. Хотя, конечно, вернее называть их ядерными, но так уж повелось. Научные открытия перетекали в промышленные разработки. В процессе изучения цепной реакции деления урана были созданы сверхчистые материалы, графит, например. Наш старейшина — графитовый реактор Ф-1, первый в Евразии, — работает с 1946 г. и может, по оценкам экспертов, работать еще 300 лет.

Была создана новая промышленность по разделению изотопов, и тут, из экономии времени, мы сначала пошли по уже проторенному американцами газодиффузионному пути. Но сразу же начались работы и по развитию центрифужного метода, ставшего позже приоритетным не только в нашей стране, но и во всем мире, прежде всего из-за меньшего в десятки раз потребления энергии.

Конечный продукт Курчатовского института всегда был востребован промышленностью, нужен стране для ее обороны, экономики. Так было и со следующим после атомной бомбы крупным проектом по созданию атомного подводного флота. Анатолий Петрович Александров, которого справедливо считают отцом советского атомного флота, создал столь совершенную систему в этой области, что она исправно функционирует до сих пор.

России сегодня очень важны с экономической, геополитической точек зрения позиции в Арктике, и тут стране помогает созданный под научной эгидой Курчатовского института единственный в мире атомный ледокольный флот. Это была задача огромной сложности: мало было сконструировать судовой реактор, надо было создать новые судостроительные технологии, продумать систему обеспечения, решить огромное количество больших и малых, научных и производственных задач.

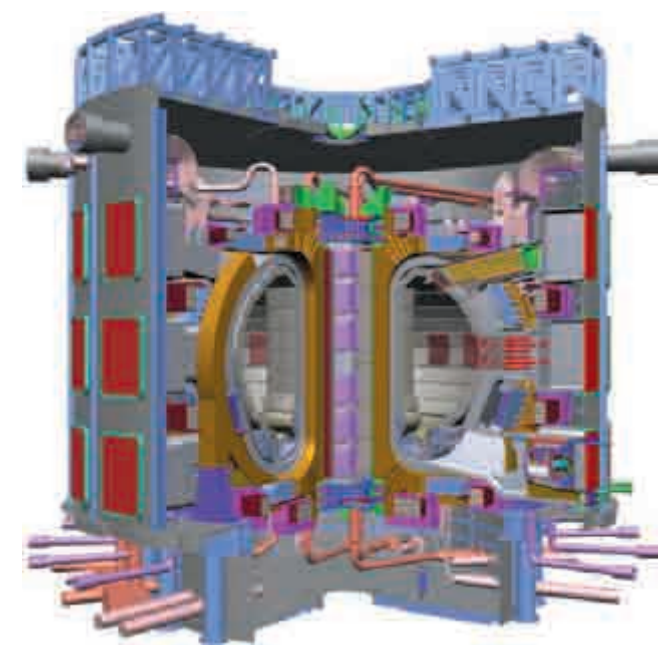
В Курчатовском институте были проведены и первые успешные работы по укрощению термоядерной энергии. Именно здесь были созданы первые токамаки, в реальность которых западные ученые долго не верили. Академик Лев Арцимович сделал смелый шаг, пригласив в Курчатовский институт англичан, тоже начавших заниматься проблемой удержания плазмы. Они измерили температуру в установке, которая оказалась даже выше нашей заявленной оценки — более 10 млн °С. Именно наши токамаки стали основой мировой термоядерной программы, вплоть до строящегося сейчас ITER. Мощное международное сотрудничество в рамках этого мегапроекта стало базой для развития новой отрасли промышленности, основанной на явлении сверхпроводимости. Нужно было создать технологии производства нового сверхпроводящего материала, кабелей большой длины, состоящих из переплетенных микронных жил, числом до миллиона. Эти технологии были разработаны в Курчатовском институте, успешно прошли испытания и международные экспертизы.

### На стыке наук

В 1990-х гг. оставленная без поддержки большая наука в России была в жесточком кризисе. Конечно, наш институт тоже переживал этот тяжелейший период не без потерь, как интеллектуальных, так и материальных. Но с начала 2000-х гг. ведет отчет активное развитие нашего центра синхротронного излучения, возглавить который я пригласил Михаила Валентиновича Ковальчука — известного специалиста в этой области. Запустив синхротрон — первую мегаустановку, заработавшую в России в это тяжелое время, он развил у нас на новом уровне работы в области нанотехнологий. В Курчатовском институте в их перспективности никто и не сомневался. Мы давно прониклись идеей создателя квантовой электродинамики нобелевского лауреата Ричарда Фейнмана о беспредельности наномира. Интерес к нанотехнологиям в Курчатовском институте возник еще в 1980-е гг. Одним из направлений работ в этой области стала разработка технологии имплантационных примесей в полупроводниковые материалы для придания им особых свойств. На этой базе развилось целое направление по созданию новых материалов для энергетики и машиностроения, обработке различных поверхностей, например для турбин с высоким КПД.

Однако на новый уровень развития нанотехнологий мы вышли именно с приходом в институт М.В. Ковальчука, который подключил к нанотехнологиям информационные, био- и позже когнитивные технологии.

Это был достаточно рискованный шаг, требовавший немалой смелости, уникального предвидения. Результатом стало рождение уникального, не имеющего аналогов в мире, Курчатовского НБИКС-центра, в котором работают на одну цель конвергентные нано-, био-, инфо-, когно- и социогуманитарные технологии. Это позволяет нам быть на острие развития мировой науки.



Макет ITER

Хотя Курчатовскому НБИКС-центру всего чуть более трех лет, интересные результаты уже есть, в частности в геномике, помноженной на информатику. Сейчас разобрать геном можно сравнительно легко, а вот для того чтобы его собрать, просчитать результат, проанализировать, расшифровать, требуются огромные вычислительные мощности. Когда-то именно Курчатовский институт выступил инициатором внедрения в этом направлении суперкомпьютеров. В создании программной базы для них мы тесно сотрудничаем с Росатомом, с Саровским ядерным центром. Сегодня очевидно, что эффективная производительность промышленности напрямую связана с использованием информационных технологий, без них не могут обойтись ни высокотехнологичная медицина, ни конструирование механизмов — от летательных, до микроскопов. Кстати, Интернет в России тоже начался из Курчатовского института, и первый электронный адрес был наш.

Но самая высокопроизводительная машина, которой мы все пользуемся, которую непрерывно изучаем, от которой больше всего зависим, — это наш собственный мозг.

Когнитивное направление, изучающее работу нашего сознания, развивается у нас в институте сейчас очень активно. Раньше эти процессы исследовались в основном путем довольно отвлеченных рассуждений, гипотез и психологических экспериментов. Теперь же мы поставили эти исследования на современные физические рельсы — подключили МРТ, ПЭТ, суперкомпьютер, нейрофизиологию, и здесь мы находимся на очень неплохих позициях.

### От ядра

Я как президент НИЦ «Курчатовский институт» вижу, что с приходом в 2005 г. нового директора институт получил новое дыхание. Михаил Валентинович, как когда-то Курчатов, хорошо чувствует, куда надо двигаться. При этом, развивая новые направления, он не бросает те, за которые мы всегда отвечали: атомную и термоядерную энергетику.

Последствия Чернобыля тяжело и долго сказывались на нашей атомной энергетике и на Курчатовском институте. Более тысячи наших сотрудников участвовали

## Без ядерной энергетики человечество не сможет преодолеть энергетический кризис. Главное — исключить проблемы, связанные с угрозами разрушительных аварий, распространения оружейных материалов, с накоплением и распространением долгоживущих радиотоксичных отходов и продуктов деления

в ликвидации последствий чернобыльской аварии. Сейчас мы также заняты в работах на саркофаге, хотя сегодня Чернобыль — в другом государстве.

Курчатовский центр отвечает за ядерные технологии, за связанную с ними фундаментальную науку. Мы продолжаем развивать ядерную физику не только в наших стенах, но и за их пределами. Россия активно участвует в международном проекте *CERN*, в крупных экспериментах на коллайдере. Одна из шести установок на нем, *ALICE*, — это фактически «курчатовская» установка, построенная по нашим технологиям.

Другой проект, *XFEL*, — мощнейший рентгеновский лазер на свободных электронах, который сейчас строится в Германии не просто с российским участием, но с нашим определяющим интеллектуальным, технологическим и материальным вкладом. Курчатовский институт выступает научным руководителем проекта с российской стороны, тем самым мы попадаем на самый передовой



У нейтронного реактора ИР-8

край современной науки. С другой стороны, за этой фундаментальной наукой проглядывает и огромный спектр промышленных применений. В мировом научном сообществе общепризнано, что участие Курчатовского института уже само по себе доказывает серьезность работ.

Мы уже несколько лет фактически тащим на себе проект *ITER*, где возникает много проблем не только технических или научных, но и организационных, политических и материальных. Но благодаря Курчатовскому институту дело продвигается.

### Нейтроны на службе

Мы находимся сейчас на такой стадии развития, когда нужно пересмотреть базовые идеи ядерной энергетики в принципиальном, системном плане.

Без ядерной энергетики человечество обойтись не сможет, без нее не преодолеть энергетический кризис. Сегодня ядерная энергетика — наиболее надежный и дешевый способ получения промышленной энергии. В развитии ядерной энергетики главное — исключить проблемы, связанные с угрозами разрушительных аварий, распространения оружейных материалов, с накоплением и распространением долгоживущих радиотоксичных отходов и продуктов деления. Сегодня мы выступаем с инициативой создания нового поколения гибридных ядерных энергетических систем, так называемой «зеленой» ядерной энергетики. Она может быть реализована на основе концепции внутренне самозащищенных ядерных энергоисточников — жидкосолевых гибридных токамаков, в которых осуществляется самообеспечение топливом и эффективное преобразование энергии.

Чем ограничено развитие энергетики? Если вы сложите все энергоисточники — уголь, нефть, газ, биотопливо, ветер, солнце, то в сумме выход электроэнергии

получите намного больше, чем нужно человечеству. Но есть одно ограничение: человечество может использовать сегодня не более 10% глобального производимого продукта на обеспечение энергетических нужд, иначе получим кризис экономики. Так было в 1980 г., в 2008 г., сейчас мы балансируем в районе этих критических 10%, и нам очень важно не перейти эту границу.

Выход из ситуации один. Нам следует уйти от такой «приятной» вещи, как самоподдерживающаяся цепная реакция. Уйти в подкритические системы. В этом ничего особо умного нет, но это означает, что мы должны иметь мощный источник нейтронов. И самый реальный кандидат — это термоядерный источник. Но такие установки нельзя сделать маленькими. В результате получается система в несколько электрических гигаватт. Разговоры о холодном термояде — чепуха.

В такой гибридной энергетической системе должны быть объединены несколько вещей. Первое — это гибридный термояд, включающий мощный источник нейтронов и подкритический жидкосолевой энергопроизводящий компонент. На один гигаватт электрической мощности такая система нарабатывает где-то в 20 раз больше плутония, чем ядерный реактор. Кроме того, нужны тепловые и быстрые реакторы, которые будут работать на этом топливе. Система функционально богатая. Большой гибридный будет производить энергию и нарабатывать новое топливо для других реакторов. В этом заключается наша российская идеология с того момента, когда В.В. Путин в 2006 г. выдвинул инициативу создания международных центров ядерного топливного цикла, в которых будет нарабатываться новое топливо.

Это будут мощные, многогигаваттные центры. Они будут давать и энергию и, самое главное, топливо. Но их будет нужно немного, потому что топлива они, как уже



Черенковское излучение

было сказано, будут вырабатывать в 20 раз больше, чем обычные энергетические атомные реакторы. Это будут единичные центры, находящиеся под международным контролем. И далее нам надо приложить все усилия, чтобы избежать новой Фукусимы, где произошедшее вследствие потери охлаждения разрушение реакторов привело к распространению радиоактивных продуктов деления на большой территории.

Энергетика должна быть построена таким образом, чтобы крупные аварии были исключены. Этого можно достичь, используя обычные и быстрые реакторы малой мощности. Мы в Курчатовском институте пришли к выводу, что уровень мощности, при котором можно обеспечить качественное увеличение безопасности, находится где-то в районе 200–300 электрических мегаватт. Такой реактор в аварийной ситуации, когда в нем все разваливается, может сам охлаждаться теплопроводностью в окружающую среду. Обеспечивается пассивная безопасность. Кроме того, реакторы малой мощности не нужно строить на месте, их можно изготавливать на заводе в рамках стандартизированного серийного производства и устанавливать в любой точке.

### От океанской платформы до серийного реактора

В России всегда были, есть и будут талантливые люди, будут существовать институты, центры, где делается самая современная наука, — в этом я совершенно уверен. Опасение вызывает другой факт. Мировая наука вписана в мировую производственную систему, т.е. она оплачивается за счет конечного продукта, за счет того, что вы продаете айпады, айфоны, собираете машины, запускаете ракеты, выпускаете новые лекарства, материалы и т.д. У нас в стране такая система перетекания научных идей в промышленность отсутствует, но лозунг о том, что мы можем просто продавать нашу интеллектуальную собственность, не выдерживает никакой критики. Получается, мы будем работать неизвестно на кого, а полученную в результате прибыль заберут себе крупные компании, которые способны создавать современный массовый продукт и организовывать под него рынок. Вот этому России надо научиться, и в этом наша проблема. Но мы движемся в направлении ее решения.

У нас есть глобальные компании, такие как «Газпром», «Роснефть». Вот такие корпорации нам необходимы и не только в сырьевой области. Важно, чтобы у нас были свои мощные транснациональные компании. Тогда будет и насущная потребность в науке, и то, из чего ее оплачивать.

Я еще в 1990-е гг. понимал, что наши крупные компании должны создавать рабочие места и заказы для российской промышленности. 20 лет назад совместно с «Газпромом» и «Севмашем» при энергичной поддержке руководства страны мы создали компанию «Росшельф». Начали разрабатывать проекты освоения двух крупных углеводородных месторождений арктического шельфа: Штокмановского газоконденсатного, которое, к сожалению, очень медленно развивается, и Приразломного

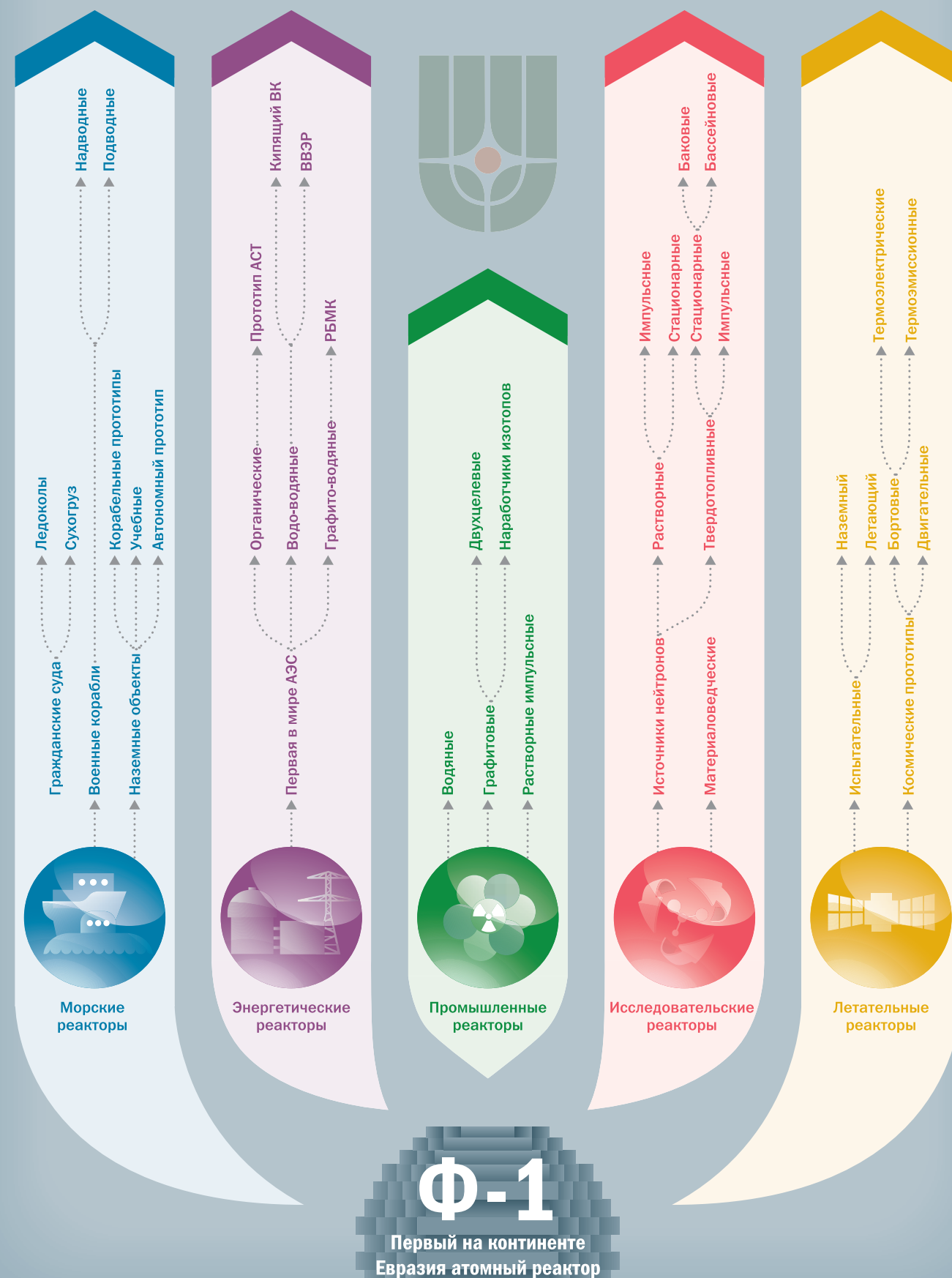
нефтяного в Баренцевом море. Этот проект тоже развивался долго, но мы все-таки довели его до конца, и сейчас океанская ледостойкая платформа «Приразломная» установлена у южной оконечности островов Новая Земля и передается строителем — «Севмашем» эксплуатанту — «Газпрому». Годовая проектная производительность платформы — 7 млн т нефти.

При разработке проекта у нас возникла идея. В начале 1990-х гг. активно пропагандировалась конверсия военной промышленности, и правительство младореформаторов настойчиво рекомендовало нам чуть ли не ложки делать. Наша идея состояла в том, чтобы на крупных оборонных заводах было организовано совместное производство высокотехнологичной оборонной и гражданской продукции. Так, например, для крупного машиностроительного завода «Севмаш» в Северодвинске, с которым мы начали развивать Приразломное месторождение, предусматривался не отказ от военной составляющей его производства, а совмещение его с гражданским, т.е. смысл был в том, чтобы выполнять и оборонные, и мирные заказы одновременно, балансируя между этими двумя задачами. У каждой из них есть особенности, но больше общего. По ходу работы наша позиция не всегда встречала поддержку. Регулярно высказывались предложения передать заказ за рубеж. Еще бы! Поддержка и создание высококвалифицированных рабочих мест в национальной промышленности — основная задача в конкурентной борьбе мировых компаний. Но все-таки нам удалось завершить на «Севмаше» строительство платформы «Приразломная» и установить ее на точку. Зимой за платформой во льдах виден уходящий за горизонт след. Огромное ледяное поле доходит до платформы, разламывается о ее корпус, и дальше за «Приразломной» идет битый лед. Это сегодня реальный факт: платформа гравитационная, ее вес — около полумиллиона тонн. Мы доказали, что такие грандиозные сооружения для работы на Арктическом шельфе мы можем создавать на наших крупных производствах типа «Севмаш». Стандартная атомная электростанция малой мощности будет на порядок меньше по необходимому масштабу производства. Такую станцию можно будет полностью изготавливать на «Севмаше» или другом подобном предприятии, а потом поставлять на место в собранном виде.

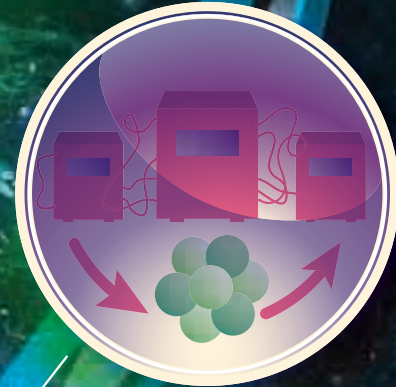
В 1990-е гг. «Росшельф» позволил нам удержаться на плаву. Это было жизненно важное вливание в Курчатовский институт. В отличие от многих других институтов, мы никогда не сокращали инфраструктуру, не прекращали отапливать помещения, не сдавали институт под бизнес-офисы. Если говорить о людях, которые здесь работали, тут всегда было братство во имя науки, скрепленное богатой историей, традициями, особой атмосферой Курчатовского института. Каждый наш даже бывший сотрудник или совсем молодой ученый с гордостью говорит о себе: «Я — курчатовец!» И это многое значит.

Беседовал Валерий Чумаков

## КУРЧАТОВСКОЕ РЕАКТОРНОЕ «ДРЕВО»



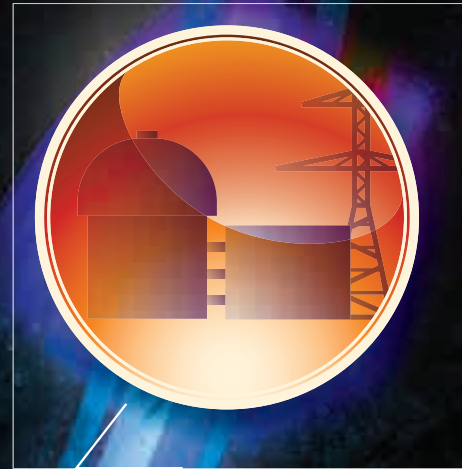
# Основные направления деятельности НИЦ «Курчатовский институт»



Исследования с использованием источников синхротронного излучения, нейтронов, протонов



Исследования и разработки в интересах обороны и безопасности России



Развитие ядерных технологий для создания атомной энергетики нового поколения



Междисциплинарные исследования в области нано-, био-, информационных, когнитивных, социогуманитарных наук и технологий (НБИКС)



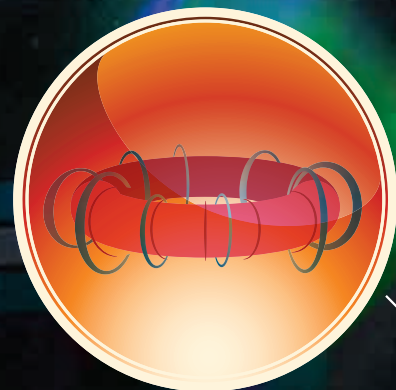
Развитие информационно-коммуникационных технологий и систем



Фундаментальные и прикладные исследования с использованием тяжелых ионов и ядерная медицина



Междисциплинарная подготовка кадров



Фундаментальные и прикладные исследования в области физики плазмы и токамаков



Координация международных научных мегапроектов





Директор НИЦ «Курчатовский институт» Михаил Валентинович Ковальчук

# Сколько лет МЕГАНАУКЕ?

## Директор НИЦ «Курчатовский институт» член-корреспондент РАН Михаил Ковальчук рассказывает, как открытие Вильгельма Конрада Рентгена, получившего первую в истории Нобелевскую премию по физике, столетие назад стало началом сложного развития меганауки

Сегодня очевидно, что Рентген дал ученым — и не только физикам, но и химикам, биологам, медикам — инструмент, с помощью которого было создано все материаловедение XX в. И сейчас самые сложные и совершенные научные приборы, помогающие проникать в глубинные тайны Вселенной, построены на использовании открытого Рентгеном излучения. Можно смело утверждать, что все прорывные открытия начала прошлого века были сделаны с помощью рентгеновских лучей. Они стали буквально универсальным средством изучения свойств материи, а развитие методов их применения сыграло огромную роль в формировании всей современной науки.

Например, рентгеновское излучение также использовалось для расшифровки структуры миоглобина (Дж. Кендрю, М. Перутц, Нобелевская премия по химии за 1962 г.). Непосредственное отношение рентгеновское излучение имело и к расшифровке двойной спирали ДНК (Дж. Уотсон, Ф. Крик, Нобелевская премия в области физиологии и медицины за 1962 г.). В 1964 г. Нобелевскую премию по химии «за определение с помощью рентгеновских лучей структур биологически активных веществ» получила Д. Ходжкин. В 1979 г. Нобелевской премии в области физиологии и медицины за разработку метода осевой рентгеновской томографии были удостоены А. Кормак и Г. Хаунсфилд. В 1982 г. Нобелевскую премию «за вклад в развитие электронной спектроскопии высокого разрешения» получил К. Сигбан. В 2002 г. «за изыскания в области астрофизики, которые привели к открытию космических источников рентгеновского излучения» Нобелевской премией был награжден Р. Джаккони.

Лучи Рентгена проявили себя в самых разных областях. Современное материаловедение достигло таких высот только благодаря тому, что посредством рентгена стало видно, как устроен конкретный материал. Крайне важен вопрос интенсивности и качества источника излучения. Сегодня наука перешла на атомарный уровень, когда можно видеть отдельные атомы, определять их конкретное положение в кристаллической решетке. Для качественных исследований на таком уровне надо иметь яркое излучение непрерывного белого спектра. Яркости имеющихся источников для новых прорывных исследований перестало хватать еще в 1950-х гг.

Таким «трамплином» стали источники синхротронного излучения. Синхротрон — это циклический ускоритель, в котором электроны ускоряются до релятивистских скоростей, т.е. до энергии, которая соответствует скоростям, близким к скорости света. Изначально строили такие

циклотроны совершенно для других целей. Разогнанные в них заряженные частицы (электроны или позитроны) поражали какую-то мишень, а затем с помощью детектора, например камеры Вильсона, анализировались результаты ядерных реакций. Эти ускорители были инструментом ядерной физики. Но для того чтобы удержать электрон на кольцевой орбите такого синхротрона, его необходимо было проводить через поле специального «поворотного магнита», искривлявшего его траекторию необходимым образом. По классической электродинамике хорошо известно, что при таком «вираже» электрон излучал электромагнитные волны. Это излучение, предсказанное еще в 1944 г. нашими физиками Исааком Померанчуком и Дмитрием Иваненко (за что они спустя шесть лет были удостоены Сталинской премии), ограничивало возможности ускорения частиц, а поэтому считалось вредным и даже называлось «паразитным».

Поэтому сначала с синхротронным излучением пытались бороться, но параллельно исследовали его. Выяснилось, что это излучение обладает совершенно уникальными свойствами. Это идеально белый свет, т.е. непрерывный спектр, на много порядков превосходящий по яркости стандартное рентгеновское излучение. Это оказалось электромагнитное излучение огромной яркости, которое включает в себя и видимый свет, и инфракрасное излучение, и ультрафиолет, и, что самое важное, рентгеновское излучение.

Именно открытия, связанные с рентгеновским излучением, собрали самый богатый урожай наиболее престижных научных наград. Не считая Нобелевских премий Рентгена и Лауэ, они были присуждены по физике:

- ✓ в 1915 г. отцу и сыну Брэггам «за заслуги в исследовании кристаллов с помощью рентгеновских лучей»;
- ✓ в 1917 г. Ч. Баркла «за открытие характеристического рентгеновского излучения элементов»;
- ✓ в 1924 г. К.М. Сигбану «за открытия и исследования в области рентгеновской спектроскопии»;
- ✓ в 1927 г. А. Комптону «за открытие эффекта, названного его именем»;
- ✓ в 1936 г. П. Дебаю «за вклад в понимание молекулярной структуры в ходе исследований дипольных явлений и дифракции рентгеновских лучей и электронов в газах»;
- ✓ в 1937 г. К. Дэвиссону и Д. Томсоному «за экспериментальное открытие дифракции электронов на кристаллах»;
- ✓ в 1946 г. Г. Меллер получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине «за открытие появления мутаций под влиянием рентгеновского облучения».

Беспрецедентность и важность такого явления были очевидны. Тем не менее синхротроны первого поколения строились для экспериментов по физике высоких энергий, а синхротронное излучение было побочным продуктом. Но именно на этих синхротронах началась практическая отработка методов его использования. В СССР первый такой синхротрон Б-4 в составе комплекса ВЭПП-4 был построен на рубеже 1960–1970-х гг. в новосибирском Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Он работает до сих пор. Только в 1968 г. в США был запущен первый синхротрон, специально предназначенный для использования синхротронного излучения, — *Tantalus*. Такие специализированные ускорители принято называть синхротронами второго поколения.

В СССР проекты первых двух подобных синхротронов были разработаны в том же ИЯФ в самом начале 1980-х гг. Первый должны были построить в столице советской электроники — подмосковном Зеленограде, второй, с двумя накопительными кольцами, — в Курчатовском институте. Зеленоградский синхротрон предназначался для литографии, необходимой в процессе печатания микросхем, и для других технологических задач, на Курчатовском же планировалось проведение фундаментальных исследований. Вскоре в Курчатовском институте был построен небольшой синхротрон — источник мягкого рентгена «Сибирь-1». Поколение, к которому он относился, можно назвать «два с плюсом», поскольку в нем был использован первый

сверхпроводящий вигглер (от английского *wiggle* — «вихлять, ерзать») — серия разнонаправленных высокомошных магнитов, попадая в поле которых, электрон начинает двигаться по синусоидной траектории, создавая, образно говоря, на каждом «вираже» искомое синхротронное излучение.

Но с началом 1990-х гг. стране стало не до большой науки. В результате строительство Зеленоградского синхротрона было законсервировано, а Курчатовского — заторможено. Для того чтобы оно хоть малыми темпами, но продолжалось, потребовались поистине титанические усилия. Коллективу Курчатовского института удалось преодолеть все препятствия, и, наконец, 1 октября 1999 г. Курчатовский источник синхротронного излучения (КИСИ), остающийся и по сей день единственной российской научной мегаустановкой, введенной в эксплуатацию после распада СССР, и единственным специализированным источником СИ на постсоветском пространстве, дал свой первый пучок синхротронного излучения.

Тогда, в последние годы уходящего века, в здании ускорителя была открыта лишь часть экспериментального зала и одна станция. Площадь всего синхротронного комплекса была 6 тыс. кв. м. Сейчас она составляет почти 16 тыс. кв. м. На новых площадях экспериментального зала расположены станции, на которых ведутся исследования в области нанодиагностики, нанобиотехнологий, микроэлектроники. Нанотехнологическое подразделение оснащено уникальным рентгеновским оборудованием, атомно-силовыми и электронными микроскопами, зонами чистых комнат.

Еще ряд станций находятся в разных стадиях — от проектирования до достройки. В оборудовании каждой станции присутствуют блоки монохроматизации и управления пучками излучения, прецизионная гониометрическая аппаратура и камеры образца, детекторы, системы автоматизации и управления экспериментом. Количество станций на Курчатовском синхротроне планируется довести до 30.

Сейчас для ученых, работающих на синхротроне, наступает новый этап — расширение и углубление исследований биоорганической материи. Именно с помощью синхротрона удалось расшифровать пространственную структуру белка, и сегодня ее изучение — одна из главных тем работ на Курчатовском синхротроне. Важным фактором выступает и то, что любые эксперименты с излучением — оптические, рентгеновские, инфракрасные — здесь можно провести на одной площадке. Наиболее востребованными в последнее время стали работы, связанные с нано- и биотехнологиями, структурной диагностикой сверхвысокого разрешения, материаловедением, новыми методами медицинской диагностики, микромеханикой, высокочувствительным химическим анализом и др.

Такие уникальные и многоцелевые научные мегаустановки, как Курчатовский синхротрон, непременно становятся центром всевозможных междисциплинарных исследований. Поэтому не случайно в Курчатовском ин-

ституте в середине минувшего десятилетия вокруг синхротрона началось развитие совершенно нового направления в науке — конвергенции нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий (НБИКС). Синхротрон стал не просто сердцем, двигателем, но именно телом, в котором различные органы-направления сосуществуют на равных правах и совместно добиваются практических результатов, о которых ученые несколько десятилетий назад не могли даже и мечтать. Для реализации этого направления в последние два года был создан не имеющий пока мировых аналогов Курчатовский НБИКС-центр.

Сейчас в нескольких мировых научных центрах работают синхротроны третьего поколения. От предыдущих они отличаются тем, что синхротронное излучение возникает при прохождении пучка электронов через многополюсные магниты, «вставленные» в прямолинейные промежутки ускорителя (а не через поворотный магнит), называемые вигглерами и ондуляторами. Такие устройства позволяют получать значительно более яркие пучки излучения и управлять его характеристиками.

При этом Россия отнюдь не отстала от мира — не только потому, что вигглеры используются и в Курчатовском синхротроне, а потому, что нам удалось перепрыгнуть через ступеньку и сразу подключиться к созданию принципиально новых синхротронных источников следующих поколений.

Синхротронное рентгеновское излучение сегодня позволяет определять положение любого атома в пространстве с огромной субангстремной точностью (сотые доли ангстрема). Но при этом мы фиксируем окончательное положение атомов, в которое они «пришли», двигаясь, например, в результате любых физико-химических реакций. В действительности весь окружающий нас мир находится в движении, и это, как правило хаотическое, движение атомов, например в расплаве или растворе, в процессе химической реакции приводит к их упорядоченному расположению во вновь сформированном кристалле.

Если бы мы имели возможность увидеть это движение, обеспечивающее переход от хаоса к порядку в расположении атомов в структуре, то смогли бы понять «природные технологии», с помощью которых был создан окружающий нас мир. А это, в свою очередь, могло бы обеспечить цивилизации мощный технологический прорыв.

Чтобы увидеть это движение атомов в процессе реакций, надо иметь рентгеновский источник-синхротрон, который наряду с субангстремным определением положения атомов в пространстве позволял бы фиксировать такие положения во времени с фемтосекундным разрешением. Для этого и нужны новые источники синхротронного излучения.

Будущие источники фотонов на основе ускорителей (источники СИ четвертого поколения) должны объединять в себе возможности классических источников синхротронного излучения и дополнительно обеспечивать требуемое временное разрешение. Но это пока дело будущего, а сегодня мы активно участвуем в другом



Президент РФ В.В.Путин в Курчатовском институте

международном проекте: постройке самого совершенного в мире Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах XFEL (*X-Ray Free Electron Laser*). Научное руководство проектом возложено на Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Российско-германское сотрудничество в области меганауки развивается очень успешно. В прошлом году, например, на базе наших синхротронных центров был создан Институт Иоффе-Рентгена (*JRI*) для создания и развития мегаустановок, а также организации исследований на них. Он состоит из двух подразделений, первое из которых располагается в Курчатовском институте, а второе — в Исследовательском центре по физике частиц DESY в Германии.

Так что Вильгельм Конрад Рентген не случайно получил первую в истории Нобелевскую премию по физике, а Макс фон Лауэ — премию за открытие дифракции рентгеновских лучей. Ибо именно эти находки открыли столетие назад ворота в сложный мир меганауки — науки мегаустановок, мегаэнергий, мегапроектов и мегадостижений, которые сегодня могут совершить в науке настоящий мегапрорыв, помочь человеку еще глубже заглянуть в тайны мироздания. ■

Беседовал Валерий Чумаков

Синхротронное излучение применяется даже при изучении мозга живых существ. Оно позволяет избирательно визуализировать в его тканях ионы тяжелых металлов. Ученые могут пометить активно работающие клетки мозга испытуемого животного так, чтобы они накапливали эти ионы, и визуализировать эти работающие сети в мозге во время введения исследуемого когнитивного препарата. Это может дать ответы на целый ряд вопросов — как действует препарат, где, на какие системы памяти влияет.

Всего на большом Курчатовском ускорителе «Сибирь» сейчас работает 15 экспериментально-исследовательских станций:

- ✓ структурного материаловедения (СТМ);
- ✓ прецизионной рентгеновской оптики (ПРО), позволяет проводить эксперименты по плосковолновой рентгеновской дифракции и стоячим рентгеновским волнам;
- ✓ глубокой рентгеновской литографии (ЛИГА);
- ✓ фотоэлектронной спектроскопии (ФЭС);
- ✓ рентгеновской рефракционной оптики (РЕФРА);
- ✓ рентгеновской кристаллографии и физического материаловедения (РКФМ);
- ✓ рентгеновской топографии и микротомографии (РТ-МТ);
- ✓ белковой кристаллографии (БЕЛОК);
- ✓ малоугловая станция для исследования биологических объектов (ДИКСИ);
- ✓ многоцелевой комплекс установок медицинской и материаловедческой диагностики (МЕДИАНА);
- ✓ станция спектроскопии конденсированного состояния (СПЕКТР);
- ✓ рентгеновской спектроскопии поглощения в пространственно-дисперсионной моде «EXAFS-D»;
- ✓ исследовательско-технологический комплекс для формирования органических и биоорганических наносистем, находящихся на поверхности жидкости, с возможностью их характеризации в процессе наноконструирования (ЛЕНГМИОР);
- ✓ исследовательско-технологический комплекс для получения неорганических наносистем методом молекулярно-лучевой эпитаксии с возможностью характеризации их в процессе формирования (ВАКУУМ);
- ✓ рентгеноструктурного анализа порошков (РСА).

*Специализированный Курчатовский источник синхротронного излучения для фундаментальных научных исследований начали строить еще в 1986 г. На тот момент многие наши позиции в области рентгеновских и синхротронных исследований не уступали зарубежным разработкам, а во многом даже превосходили их. Но наступили 1990-е гг., Курчатовский синхротрон совместными усилиями нескольких научных организаций был введен в эксплуатацию лишь в октябре 1999 г. Так называемая процедура инаугурации Курчатовского источника состоялась при участии В.В. Путина, в то время премьер-министра России, и стала знаковым событием для отечественной науки. О том, как живет Курчатовский синхротрон сегодня, какие исследования здесь проводятся, нам рассказал член-корреспондент РАН Владимир Квардаков*

**К**урчатовский источник синхротронного излучения (КИСИ) — в настоящий момент единственный в России специализированный источник СИ, так называемый источник поколения 2+. Уникальность нашего синхротрона заключается, в частности, в его инфраструктурном окружении, что позволяет проводить исследования с использованием целого ряда взаимодополняющих, комплементарных методов диагностики, развиваемых во всем Курчатовском институте и особенно в Курчатовском НБИКС-центре. Эта идеология конвергентных междисциплинарных исследований была заложена нашим директором М.В. Ковальчуком еще в конце 1990-х гг., когда он возглавлял Курчатовский синхротронный центр, а позднее он развил ее применительно ко всему Курчатовскому институту. Речь идет о таких комплементарных методах, как рассеяние нейтронов, рентгеновских лучей и электронов, методах зондовой микроскопии, оптической, магнитной диагностики. Такое взаимодополнение методов позволяет нам быть конкурентоспособными по отношению к более современным зарубежным источникам СИ.

Уникальные исследовательские возможности также дает работа в едином комплексе КИСИ и исследовательского нейтронного реактора ИР-8. Так, нейтроны чувствительны к магнитным свойствам, акустическим волнам, положению легких атомов, например водорода. В то же время СИ обладает более высокой яркостью и когерентностью, с его помощью исследуют микрообразцы вплоть до отдельных атомных слоев на поверхности кристалла или жидкости. Путем комбинации взаимодополняющих методов мы получаем уникальную информацию. Это все равно что смотреть на микро- и наномир с разных точек зрения двумя глазами, что дает

возможность перейти на качественно новый уровень диагностики подобно тому, как бинокулярное зрение дает людям ощущение глубины — третьего измерения.

КИСИ активно используется, в частности, для изучения физики взаимодействия излучения с веществом. Хотя в 2012 г. исполнилось 100 лет открытию явления дифракции рентгеновского излучения в кристаллах, эта физика по-прежнему активно развивается, ведь она многогранна, особенно в условиях, когда излучение становится все более ярким и когерентным, с развитием новых источников его генерации.

Колоссальный научный прорыв в оптике, связанный с созданием лазеров, изменил не только многие области физики, но и технологии. Однако оптический лазер — это генератор излучения в достаточно узкой области спектра: микрон-полмикрона. Синхротронное же излучение перекрывает огромный интервал длин волн. Создание новых источников СИ и модернизация имеющихся, в том числе и Курчатовского источника, идет в первую очередь по пути повышения яркости и когерентности излучения, увеличения времени жизни пучка.

При взаимодействии когерентного излучения с почти совершенными кристаллами возникает ряд необычных с точки зрения классической рентгеновской оптики эффектов, которые очень чувствительны к структуре рассеивающих объектов. Это лежит в основе многих методов диагностики субатомного уровня разрешения, востребованных и научными подразделениями Курчатовского института, в первую очередь центром конвергентных НБИКС-технологий, и внешними пользователями. В частности, при когерентном взаимодействии излучения с кристаллом возникает «эффект стоячих рентгеновских волн» в его поверхностных слоях, что

# Главный российский ИСТОЧНИК рентгеновского света



V.V. Квардаков на одной из экспериментальных станций

имеет важное практическое значение для решения так называемой фазовой проблемы, конкретных задач материаловедения, микроэлектроники, биологии, в настоящее время активно используется в исследованиях объектов наносистем и нанобиотехнологий. Одним из родоначальников этого уникального метода стал профессор, доктор физико-математических наук М.В. Ковальчук.

### Синхротронное излучение

Когда в антенне мобильного телефона электроны приходят в периодическое движение, рождается электромагнитная волна, при этом антенна слегка нагревается из-за наличия сопротивления. Точно так же электромагнитные волны излучают и электроны, вращающиеся по кругу в магнитном поле синхротрона. Но когда электроны разгоняют до скоростей, близких к скорости света, начинают действовать релятивистские эффекты, и направления волн изменяются так, что они концентрируются в узком конусе по движению электронного пучка подобно тому, как это происходит с брызгами, отлетающими от быстро вращающегося колеса. При этом яркость излучения в конусе возрастает, а максимум его спектра смещается в рентгеновскую область. Такое излучение можно сделать очень мощным, поскольку электроны вращаются в вакууме и классических проблем с нагревом среды не возникает. Излучение релятивистских электронов в магнитном поле ускорительно-накопительного комплекса (синхротрона) и называют синхротронным.

Синхротронное излучение обладает рядом уникальных свойств по сравнению с излучением лабораторных рентгеновских трубок. В первую очередь, это высокая яркость. Кроме того, СИ поляризовано и имеет временную структуру, поскольку электроны вращаются в единой

плоскости и разбиты на сгустки; иными словами, СИ подобно стробоскопу, оно не непрерывно, что и используют при изучении динамических процессов.

### Разные поколения источников

Источники СИ второго поколения стали специализированными, т.е. предназначенными только для генерации и использования СИ, при этом была оптимизирована их магнитная структура. Основная задача этой структуры — сделать электронный пучок как можно тоньше и удерживать на орбите как можно дольше. Чем меньше светящаяся точка, тем выше яркость, чем выше время жизни, тем лучше стабильность пучка.

В настоящее время в мире существует лишь несколько источников СИ третьего поколения. Это очень большие по диаметру машины, в которых излучение генерируется

не только в поворотных магнитах, но и в специализированных устройствах типа ондулятора. Самый современный источник третьего поколения *Petra-III* находится в синхротронном центре *DESY* в Гамбурге. Мы активно сотрудничаем с ними, создаем совместные станции, которые дополняют наши экспериментальные возможности. К стати, источники третьего поколения не исключают необходимость источников предыдущих поколений и даже рентгеновских трубок, поскольку они имеют разный круг задач и режим работы пользователей. Так, например, появление самолетов не отменило автомобили, велосипед или прогулки пешком.

Наш источник в настоящее время существенно модернизирован и представляет собой поколение 2+. Изначально в магнитной структуре источника были предусмотрены прямолинейные промежутки, в которые можно вставлять вигглеры. Вигглер — это та же магнитная змейка, но более короткая, чем ондулятор, и имеющая более высокое магнитное поле, создаваемое сверхпроводящими магнитами. В результате излучение из вигглера столь же яркое и для некоторых приложений даже предпочтительнее ондуляторному, поскольку имеет более плавный спектр. Мы уже запустили первый вигглер, что почти в 100 раз увеличило яркость пучка и прибилизило нас к источникам третьего поколения. Наш сверхпроводящий вигглер — уникальный прибор. У него очень сильное магнитное поле — 7,5 Тл, его пучок на полной мощности составляет около 100 кВт, и это, заметим, в рентгеновском диапазоне длин волн. Это требует особой радиационной защиты, искусного устройства каналов, радиационных заглушек и систем охлаждения.

Сейчас в Германии строят принципиально новый источник СИ — рентгеновский лазер на свободных электронах *XFEL*. Его излучение будет практически

## Открытие явления дифракции рентгеновских лучей в кристаллах 100 лет назад стало переломным в понимании структуры вещества, послужило основой для развития науки о материалах и современной молекулярной биологии

полностью когерентно. Россия в этом проекте — основной партнер Германии, как финансовый (мы имеем 25% акций), так и научный.

### Рабочий процесс

Процесс ускорения электронов состоит из нескольких фаз: линейный ускоритель, малое накопительное кольцо, большое накопительное кольцо 40 м в диаметре. Электрон ускоряется примерно так же, как и камень в праще, т.е. путем последовательного увеличения скорости при вращении по кругу. Ускоряющие импульсы передаются электронам от электромагнитного поля в ВЧ-камере, которая, если говорить на бытовом уровне, подобна сверхмощной кухонной СВЧ-печке, где создается стоячая волна. Электроны влетают в камеру в тот момент, когда направление электрического поля волны совпадает с направлением электронного пучка, т.е. толчки происходят всегда в нужном направлении и при многократном повторении ускоряют электроны до почти световых скоростей. Замечу, что и синхротрон, и вигглер, и первые экспериментальные станции — российские разработки. Некоторые станции от идеи до воплощения в железе целиком были созданы М.В. Ковальчуком и его коллегами из Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН. Сегодня мы можем позволить себе заказывать новые станции за рубежом, чтобы сконцентрировать свои усилия на научной программе.

### Об исследовательских станциях

Наши экспериментальные станции реализуют основные исследовательские методики, необходимые нашим пользователям как из Курчатовского института, так и внешних организаций, поскольку КИСИ — так называемая установка коллективного пользования, и часть пучкового времени выделяется на конкурсной основе по заявкам. Наши станции позволяют комплексно изучать структуру как неорганических, так и биоорганических материалов — белков, биоорганических пленок, тканей и отдельных органов. Мы даже разрабатываем новые методы медицинской диагностики, в частности опухолей мягких тканей, на основе регистрации рефракции (преломления) СИ, т.е. видим то, что невозможно увидеть традиционными рентгеновскими методами, основанными на эффекте поглощения.

Источник СИ — это междисциплинарная установка и для лабораторий НБИКС-центра, которым необходимы наши методы диагностики, а нам от них — новые

образцы для исследований. В экспериментальном зале синхротрона совместные интересы сходятся буквально. Здесь размещен ряд так называемых чистых зон с современным оборудованием для развития нанотехнологий, и в эти зоны уже протянуты каналы СИ. Кроме того, наши станции используются при обучении студентов и аспирантов базовых кафедр многих институтов.

Огромный экспериментальный зал заполняется новыми станциями. Их число планируется довести до 35. Каждая станция специализируется на определенном направлении исследований и методике. Например, новая станция «Фаза» предназначена для развития рентгенографических методов с использованием оборудования мирового уровня. Станция микротомографии позволяет исследовать структуру мозга (пока лабораторных животных) и даже зафиксировать картину когнитивных процессов, поскольку наши коллеги из НБИКС-центра научились вводить в мозг рентгеноконтрастные вещества, которые концентрируются в тех нейронах, где возникает мозговая активность. На станции белковой кристаллографии изучаются макромолекулы, содержащие десятки и сотни тысяч атомов, а структура белков есть ключ к пониманию механизмов их функционирования и к технологиям создания новых лекарств. То, как лекарства проникают через клеточные мембраны, мы изучаем на станции «Ленгмюр». Здесь развиты диагностические методы, основанные на регистрации эффекта стоячих рентгеновских волн в условиях полного отражения излучения от поверхности жидкости. В настоящее время развиваются методы целевой доставки лекарств, в частности в липидных нанокapsулах. Структуру этих капсул мы изучаем на станциях «Структурное материаловедение» и «Малоугловая дифракция». В этом комплексе наглядно видно преимущество наших комплементарных исследований. ■

Беседовал Дмитрий Ромендик



Экспериментальный зал Курчатовского синхротрона

# ITERация сверхпроводимости

*В 2011 г. физики всего мира праздновали 100-летний юбилей грандиозного события — открытия голландским ученым Хейке Камерлинг-Оннесом явления сверхпроводимости. Об истории, применении и перспективах развития прикладной сверхпроводимости нам рассказал заместитель директора Курчатовского НБИКС-центра, начальник научно-технологического комплекса сверхпроводимости, доктор технических наук, профессор Александр Шиков*

**П**ри охлаждении целого ряда материалов до очень низких температур — температуры кипения жидкого гелия, то есть  $-269^{\circ}\text{C}$ , — сопротивление электрического тока становится равным нулю. Это и есть сверхпроводимость. В 1913 г. Хейке Камерлинг-Оннес обнаружил разрушение сверхпроводимости сильными магнитными полями и токами. Но только в середине 1960-х гг., когда советские ученые Лев Ландау, Алексей Абрикосов и Виталий Гинзбург разработали теорию сверхпроводимости, появилась надежда, что сверхпроводящие материалы найдут применение в технике, поскольку они смогут сохранить токнесущую способность в высоких магнитных полях. Их назвали «сверхпроводниками второго рода». Ученым за это была присуждена Нобелевская премия, правда, только в 2003 г.

Исследования по прикладной сверхпроводимости активно начали развиваться в Советском Союзе в середине 1960-х гг. Их инициатором и организатором был Курчатовский институт. В конце 1960-х гг. курчатовцы совместно

с ВНИИ неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара впервые разработали низкотемпературные композиционные сверхпроводники на основе сплавов и соединений. Когда в конце 1980-х гг. были открыты высокотемпературные сверхпроводники, которые теряют сопротивление уже при температуре жидкого азота ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), мы также довольно быстро получили композиты на их основе.

Конструкция сверхпроводника тоже удивительная: представьте себе проводничок диаметром 0,5–1 мм, длиной до 20 км, состоящий из медной матрицы, причем эта медь сверхчистая, и в этой матрице распределено несколько тысяч волокон диаметром до 10 мкм из сверхпроводящего материала. Вскоре были разработаны сверхпроводники на основе сплавов ниобия с титаном ( $Nb-Ti$ ), и вот они уже начали широко использоваться, поскольку благодаря нулевому сопротивлению могут пропускать через квадратный сантиметр гигантские токи — порядка нескольких миллионов ампер. Если этот сверхпроводник смотать в катушку и сделать соленоид, через который пропустить



А.К. Шиков

сильный ток, то он может создать сильнейшее магнитное поле. Так, в 1979 г. впервые в мире в Курчатковском институте появилась установка термоядерного синтеза «Токамак-7» (тороидальная камера с магнитными катушками) на ниобий-титановых сверхпроводниках.

Вскоре в Курчатковском институте родилась новая идея — создать установку термоядерного синтеза с использованием сверхпроводников на основе ниобия и олова —  $Nb_3Sn$ . Это соединение было гораздо лучше своих предшественников по всем свойствам. В 1988 г., также впервые в мире, в Курчатковском институте был создан «Токамак-15» на ниобий-оловянных сверхпроводниках. Это был первый и очень важный шаг на пути к воплощению идеи о создании термоядерных электростанций, заложивший основы для международного проекта *ITER*. В 1992 г. был дан старт научно-исследовательским и технологическим работам по созданию этой сложнейшей мегаустановки. Сердце *ITER* — сверхпроводящая магнитная система, состоящая из нескольких подсистем. Самая главная — это система удержания раскаленной плазмы. Всего для создания такой магнитной системы требуется более 700 т сверхпроводников. Причем уровень его самой главной характеристики — токонесущей способности — должен быть в два-три раза выше, чем у сверхпроводников для установок Т-7 и Т-15. В 1992 г.

Международной организацией *ITER* был объявлен конкурс на разработку таких сверхпроводников, в котором приняли участие 17 мировых фирм-производителей. Особо сложной была задача разработки металлургических технологий получения сверхпроводников. Ведь нам нужно было получить в металлической матрице сверхтонкие «жилки», не имеющие обрывов на длине до 20 км. Необходимо обеспечить им специальную наноструктуру, которая позволяла бы достигать высокой токонесущей способности. Российские сверхпроводники и на основе сплава ниобий-титан, и на основе соединения ниобий-олово полностью удовлетворяют высоким международным требованиям.

Россия выиграла тендер на изготовление 220 т сверхпроводника. В сжатые сроки на Чепецком механическом заводе Топливной компании ТВЭЛ ГК «Росатом» было подготовлено пять больших цехов. На приобретенном у ведущих зарубежных и отечественных фирм оборудовании специалисты ВНИИНМ отработывали технологию, а ученые Курчатковского института разрабатывали методы диагностики этих материалов — определение критических токов, критической температуры, качества меди, однородности свойств по длине — в общем, более 40 сертифицированных методик было применено для того, чтобы аттестовать материалы по международным стандартам. В апреле 2009 г. мы запустили производство. Начался крупномасштабный выпуск сверхпроводящего материала. К концу 2012 г. выпущено уже более половины всего сверхпроводника. Изготовлено семь ниобиево-оловянных токонесущих элементов, которые полностью соответствуют высоким международным требованиям. Всего мы должны за 2,5 года изготовить и проверить около 30 таких токонесущих элементов. Они представляют собой бобину диаметром 4 м и высотой более 5 м, весом около 10 т, внутри которой этот проводник — токонесущий элемент — и распределен.

Таким образом, в России появилось крупномасштабное уникальное производство сверхпроводников. Специалисты из центральной команды *ITER*, которая находится в Кадараше, проехали по всему миру, посетили 12 заводов и признали российское производство одним из самых современных и совершенных.

В 1986 г. были открыты высокотемпературные сверхпроводники, которые, в отличие от низкотемпературных, теряющих сопротивление при температуре кипения жидкого гелия, теряют сопротивление при температуре кипения жидкого азота. Сам переход от жидкого гелия к жидкому азоту сулил революционные изменения во всей электротехнике, электроэнергетике, медицине — т.е. в тех областях, где используется сверхпроводящий материал. В середине 2000-х гг., когда директором Курчатковского института стал М.В. Ковальчук, совместно с ГК «Ростатом» и Минэнерго был запущен крупномасштабный государственный проект по созданию и использованию высокотемпературных сверхпроводников, который состоял из двух частей. Первая — разработка высокотемпературных сверхпроводников

с приемлемым для технического использования уровнем характеристик. Вторая посвящена созданию устройств, работающих с использованием этого сверхпроводящего материала. В этом проекте Курчатковскому институту поручена самая сложная часть — разработка технологий и повышение токонесущей способности этих проводников.

У нас устанавливается линия по изготовлению стометровых кусков таких сверхпроводников, и параллельно мы исследуем связи состава и структуры сверхпроводящей керамики со свойствами с целью их повышения. Теория и эксперименты говорят о том, что токонесущую способность по сравнению с сегодняшним днем можно поднять еще в четыре-пять раз. И это многолетняя кропотливая черновая работа, которая должна увенчаться успехом. В Курчатковском институте создан мощнейший не только в России, но и в мире комплекс для материаловедческих исследований, включая синхротронный и нейтронный источники, а это уникальная комбинация.

Высокотемпературная сверхпроводимость войдет в повседневную жизнь гораздо в большем масштабе, чем она вошла в индустриальную физику. Безусловно, она принесет революционные изменения в этих областях, потому что ввод энергии в города сейчас затруднен из-за дороговизны земли, а можно будет уже через меньшие каналы вводить больше энергии. Федеральной сетевой компанией с участием Курчатковского института сейчас начал осуществляться проект линии электропередачи длиной 2,5 км для Санкт-Петербурга. Но и это еще не предел. Например, уже сегодня мы просчитываем прокладку электроэнергетического кабеля из России в Японию по дну океана.

Одна из основных особенностей Курчатковского института — выстраивание всей цепочки: от идеи до промышленного производства. Сегодня НИЦ «Курчатковский институт» и генерирует идеи, и разрабатывает технологии материалов, и делает пилотные образцы. И это правильно, что в одном месте сконцентрирован весь комплекс — от идеи до машины. Собственно, сверхпроводимость — тоже ярчайший пример: если бы физики, технологи, материаловеды, конструкторы буквально каждый день не взаимодействовали друг с другом на одной площадке Курчатковского института, то таких успехов достичь было бы очень сложно.

В курчатковском зале испытаний токонесущих элементов *ITER*

В 2011 г. по инициативе М.В. Ковальчука и М.Н. Стриханова была создана кафедра прикладной сверхпроводимости в МФТИ, и мне поручили ее возглавить. В настоящее время наши специалисты читают лекции и в МИФИ, и в Курчатковском институте, где открыт филиал этой кафедры. Студенты проходят практику, фундаментальные исследования и технологии новых материалов их очень увлекают. Последние два года мы принимаем аспирантов, и к нам попадают только те ребята, которые готовы посвятить себя интереснейшему делу — разработке сверхпроводников и их использованию. ■

Беседовал Виктор Фридман



# Фундаментальная наука как образ жизни

*Курчатовский институт во все времена задавал тон фундаментальным исследованиям как в нашей стране, так и за ее пределами. Сегодня он не только не сдает своих позиций, но и выступает движущей силой многих международных проектов, воплощая в жизнь идеи и мечты Игоря Васильевича Курчатова. О прошлом, настоящем и будущем фундаментальной науки рассказывает, член-корреспондент РАН Алексей Коршенинников*



## Начало

Основной задачей организованной в 1943 г. Лаборатории № 2, ставшей предтечей Курчатовского центра, было создание ядерного оружия. Чтобы это осуществить, требовалось решить задачи невероятной сложности, создав с нуля новую отрасль — атомную. Решить такую задачу усилиями одной Лаборатории № 2 было невозможно, поэтому атомный проект развивался в масштабах всего государства приблизительно по следующей схеме. В Лаборатории № 2 появлялось новое перспективное направление. Оно выделялось как филиал лаборатории или отдельную организацию, которая в случае успешного

развития через какое-то время становилась самостоятельной (научно-исследовательским институтом, филиалом, либо предприятием). Вскоре после создания Лаборатории № 2 был открыт ее филиал в Сарове, который через некоторое время стал Конструкторским бюро № 11, превратившимся в дальнейшем в город Арзамас-16, где была сосредоточена вся технологическая мощь по созданию ядерных боеприпасов.

В конце 1940-х гг. Игорь Курчатов создает в Челябинской области так называемые предприятия «А», «Б» и «В». Предприятие «А» — это промышленный реактор

для наработки оружейного плутония, предприятие «Б» занималось разделением изотопов, с тем чтобы выделить наработанный плутоний, предприятие «В» — металлургией нового элемента, прежде никогда на планете не существовавшего. Эти три объекта в ходе развития превратились в комбинат, который был сначала в силу секретности поименован как 817-й, а затем получил название «Маяк».

По такой схеме происходило развитие всей атомной отрасли. Помимо решения военных задач Курчатов занимался и мирным использованием атома. В 1954 г. в Обнинске по инициативе и под руководством И.В. Курчатова была запущена первая в мире атомная электростанция, научным руководителем которой стал Дмитрий Иванович Блохинцев.

## Становление

С самого начала Курчатов придавал исключительно большое значение фундаментальным исследованиям. Я начал с рассказа о запуске реактора «Ф-1», но одновременно с реактором на территории Курчатовского института (тогда Лаборатории № 2) строился циклотрон, который был предназначен именно для проведения фундаментальных исследований, для изучения ядерных реакций. После запуска в 1947 г. на циклотроне начались фундаментальные исследования. Этот циклотрон существует до сих пор и успешно работает. Конечно, за все эти годы произошла очень серьезная его модернизация, и сегодня это практически новая установка — единственная на постсоветском пространстве, которая ускоряет ионы — от протонов до средних ядер.

Еще до запуска реактора «Ф-1» Курчатов принял решение о создании ускорительного центра, который был бы всецело нацелен на фундаментальные исследования. Этот центр, который из соображений секретности получил название «Гидротехническая лаборатория», начали создавать как филиал Курчатовского института вблизи поселка Большая Волга (это место, где соединяются Волга и канал Москва — Волга, ныне Канал им. Москвы). Сейчас это место известно на весь мир как наукоград Дубна. И Курчатов в 1946 г. принимает решение о строительстве там синхроциклотрона энергией 480 МэВ. Установка была запущена, и это был абсолютный мировой рекорд. Подобная установка в Соединенных Штатах в то время давала энергию в 340 МэВ. На синхроциклотроне сразу же начали вестись фундаментальные исследования. Вскоре он был модернизирован, энергия была увеличена до 680 МэВ.

После запуска в 1947 г. циклотрона в Лаборатории № 2 Курчатов решает создать циклотроны в Харькове и Гатчине. Сегодня в Гатчине располагается ПИЯФ, ставший составной частью НИЦ «Курчатовский институт». В целом размах инициатив Курчатова в области фундаментальных исследований по физике ядра и элементарных частиц был совершенно колоссальным. В той же самой Гидротехнической лаборатории около Большой Волги начинается строительство ускорителя уже на 10 ГэВ на основе совершенно новых

идей В.И. Векслера об автофазировке. Однако и это еще не все. Параллельно проводится несколько совещаний, и Курчатов принимает решение о строительстве ускорителя на 70 ГэВ. Этот ускоритель был построен в Протвине и работает там до сих пор. Он и послужил основой создания Института физики высоких энергий, ныне входящего в НИЦ «Курчатовский институт». А предшественником этого ускорителя стал ускоритель на 10 ГэВ, построенный в Лаборатории № 3, которая сегодня именуется Институтом теоретической и экспериментальной физики и тоже входит в состав НИЦ «Курчатовский институт».

Тем временем Гидротехническая лаборатория на Большой Волге приобретает новый статус и называется теперь Институтом ядерных проблем АН СССР. Постепенно вокруг этой лаборатории появляются другие. Открывший спонтанное деление ядер Г.Н. Флеров, работавший на Курчатовском циклотроне, заинтересовался синтезом трансурановых элементов, сверхтяжелых ядер. Курчатов поддержал идею Флерова, и тот переезжает на Большую Волгу. В дальнейшем для него там создается лаборатория ядерных реакций (сегодня она носит имя Флерова), и Курчатов отдает распоряжение о строительстве принципиально новой установки — именно под задачи Флерова. Это циклотрон У-300, который, в отличие от предыдущих, ускоряет тяжелые ионы. После того как такой ускоритель был введен в строй, открылись совершенно новые перспективы в фундаментальных исследованиях, поскольку стало возможно изучать ядерные реакции уже с участием тяжелых ионов. Параллельно на этом циклотроне происходит открытие трансурановых элементов, и Флеров со своими коллегами открывает 102-й элемент таблицы Менделеева, затем 103-й, 104-й и 105-й. Сегодня это направление очень плодотворно продолжает свое развитие в Дубне, и руководит им Юрий Цолакович Оганесян, ученик Флерова. Недавно дубнинцы добрались уже до 118-го элемента и до «острова стабильности».

Вот еще один яркий пример развития фундаментальных исследований в стране. Внутри Лаборатории № 2 выделяется группа очень талантливых физиков, которую возглавил Герш Ицкович Будкер. Позже его лаборатория перемещается в Новосибирск, где строится Академгородок, и в дальнейшем вырастает в нынешний Институт ядерной физики Сибирского отделения РАН. Этот институт, носящий теперь имя Будкера, — мировой лидер по созданию ускорительной техники. Именно здесь были разработаны принципы и создана сама концепция коллайдеров — когда сталкиваются частицы, летящие навстречу друг другу.

## Интернационализация

Курчатов был предан идее, что фундаментальные исследования можно вести самым эффективным способом в рамках международного сотрудничества, когда объединяются усилия лучших ученых всего мира, чтобы совершить то, что раньше никому никогда не удавалось. Ему, хоть и не без труда, удалось убедить в этом руководство страны. В 1956 г. Курчатов приезжает в Англию, где



Газовые резервуары в инфраструктуре Курчатовского института

рассказывает об атомной энергетике в Советском Союзе и о тех исследованиях, которые прежде были абсолютно засекречены, — об управляемом термоядерном синтезе. Он предлагает ученым всего мира объединить усилия, поскольку видит в этом направлении будущий источник дешевой и практически безграничной энергии для всего человечества. Сегодня мы знаем, что те первые идеи Курчатова получили развитие. В частности, совместными силами всех развитых стран, в том числе России, сооружается термоядерный реактор *ITER* во Франции.

В 1954 г. западные страны создают вблизи Женевы европейский центр ядерных исследований — *CERN*. Советский Союз выступает с предложением об участии в этой международной научной организации, однако политическая обстановка тогда была сложной, поэтому предложение советского правительства, прозвучавшее по инициативе Курчатова, западными странами не принимается. Но Курчатов не опускает руки, и в 1956 г. вблизи Большой Волги на основе первоначальной Гидротехнической лаборатории, выросшей затем в гигантский институт, создается Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ). Это международная организация, которая изначально, с момента создания, предназначалась для фундаментальных исследований по физике ядра и элементарных частиц и была открыта для участия иностранных ученых из любых стран. Понятно, что основной вес там имели страны Восточного блока, но, тем не менее, самые выдающиеся западные ученые систематически приезжали в Дубну. Таким образом устанавливались научные международные контакты, которые затем укреплялись, и в конечном итоге идеи Курчатова об интернационализации и глобализации фундаментальных исследований стали побеждать. Как одну из вех на этом пути можно вспомнить создание в 1957 г. Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).

### День нынешний

Теперь поговорим о сегодняшнем положении дел с фундаментальными исследованиями, которые ведет Курчатовский институт. Начну с описания работ, которые наш институт осуществляет в *CERN*. Сегодня *CERN* привлекает к себе внимание физиков всего мира в связи с тем, что там расположен Большой адронный коллайдер (БАК), который дает самые большие энергии частиц в мире (естественно, из числа рукотворных). Когда БАК выйдет на свой запланированный режим, он даст столкновение протонов с суммарной энергией 14 ТэВ. Также на Большом адронном коллайдере ведутся исследования столкновений ядер свинца, здесь будет достигнута энергия в 5,5 ТэВ в системе центра масс двух нуклонов из двух сталкивающихся ядер. Частицы с та-

кими большими энергиями ускоряются в кольцевом тоннеле, который находится на глубине в среднем 100 м; периметр этого тоннеля — 27 км, расположен он под территорией двух государств — Швейцарии и Франции.

Для того чтобы разогнать частицы до таких энергий и закручивать их в кольцевую траекторию, используются сверхпроводящие магниты, которые охлаждаются до температуры 1,7° К. Частицы ускоряются в этом кольце в двух направлениях: одни летят по часовой стрелке, другие — против, причем ускоряются они сгустками, так называемыми банчами, и в четырех местах эти летящие друг навстречу другу банчи сталкиваются. В местах столкновений расположены четыре детектора, представляющие собой гигантские сооружения размером с многоэтажный дом и включающие в себя множество подсистем.

Первый супердетектор, величиной с пятиэтажку, называется *CMS* (*Compact Muon Solenoid* — «компактный мюонный соленоид»). Он призван обнаружить новые частицы и открыть дверь в новую физику. Первая задача, которая стояла перед *CMS*, — поиск бозона Хиггса, которая ответственна за спонтанное нарушение электрослабой симметрии, проявляющееся в том, что переносчики электромагнитного взаимодействия, фотоны, имеют нулевую массу, а переносчики слабого взаимодействия, *W*- и *Z*-бозоны, наоборот, имеют большую массу. Шотландский физик Питер Хиггс предположил, что на самом деле масса у частиц появляется как динамический эффект благодаря их взаимодействию с неким особым скалярным полем. А у каждого поля есть свой переносчик, и переносчиком этого нового предполагаемого поля, о котором говорит Хиггс, должна быть гипотетическая частица, которая и называется бозоном Хиггса. Таким образом, бозон Хиггса имеет фундаментальное значение для самых основ Стандартной модели (теории, описывающей элементарные частицы и их

взаимодействие), поскольку он отвечает за появление массы частиц. Как было объявлено летом 2012 г., в *CERN* проводились эксперименты на двух установках (одна из них — *CMS*, другая — *ATLAS*), где были получены взаимосогласующиеся результаты по наблюдению частицы, очень похожей на бозон Хиггса.

*ATLAS* (*A Toroidal LHC Apparatus* — «тороидальный аппарат БАК») — второй супердетектор, еще большего размера, чем *CMS*. Это детектор другого типа, он использует другие принципы, но решает в точности те же самые задачи, что и *CMS*. Такое дублирование связано с тем, что если на Большом адронном коллайдере что-то будет открыто, проверить этот результат будет негде, кроме как на этом же коллайдере. Поэтому две одинаковые коллаборации работают независимо друг от друга над одними и теми же проблемами.

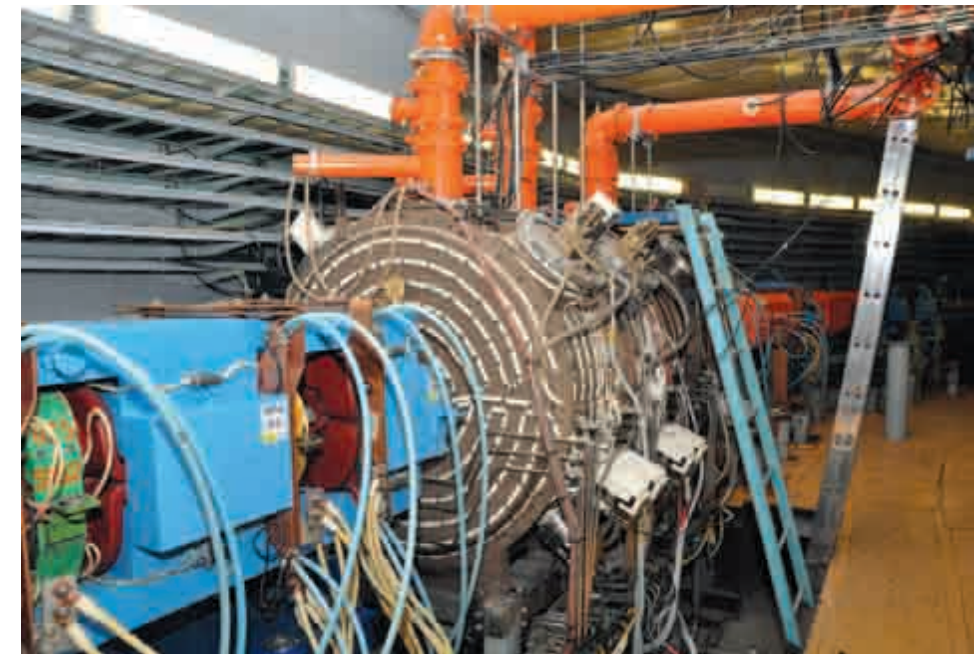
Третий супердетектор БАК называется *LHCb*. *LHC* — это английская аббревиатура названия «Большой адронный коллайдер» (*Large Hadron Collider*), а *b* — это *b*-кварк. На установке *LHCb* будут проводиться исследования, которые посвящены одному из самых интересных и основополагающих вопросов: почему наша Вселенная существует так, как она существует, почему она состоит из вещества? При Большом взрыве было образовано одинаковое количество материи и антиматерии, однако сегодня Вселенная состоит из вещества, т.е. произошла аннигиляция вещества и антивещества, но почему-то вещества при этом осталось больше. Качественно ответ на вопрос «почему так происходит?» был дан академиком А.Д. Сахаровым, но количественно мы до сих пор многого не понимаем, и исследования на установке *LHCb* помогут глубже разобраться с этой проблемой.

Четвертый супердетектор БАК называется *ALICE* (*A Large Ion Collider Experiment* — «большой эксперимент по столкновению ионов»). Этот эксперимент нацелен на исследование свойств нового состояния вещества — кварк-глюонной материи, в виде которой Вселенная существовала в первые десятки микросекунд после Большого взрыва. Эта материя будет «сфотографирована» с помощью наших детекторов, и из спектра определена ее температура. Способ изучения кварк-глюонной материи путем регистрации прямых фотонов был предложен физиками Курчатовского института и поддержан мировой международной коллаборацией.

В целом мы самым непосредственным образом участвуем в эксперименте *ALICE*, стояли у его истоков, а в три других эксперимента — *CMS*, *ATLAS* и *LHCb* — активно вовлечены сотрудники институтов, которые недавно примкнули к НИЦ «Курчатовский институт»: ИТЭФ, ИФВЭ, ПИЯФ. И в работах, где объявляется

об обнаружении частицы, похожей на бозон Хиггса, есть соавторы из тех институтов, которые сегодня составляют НИЦ «Курчатовский институт». Помимо этого у нас есть подразделения, которые занимаются изучением экзотики — ядер с избытком нейтронов или протонов, обладающих совершенно удивительными свойствами. Экзотические ядра заставляют нас пересматривать традиционную ядерную физику, поэтому физика экзотических ядер стала сегодня магистральным направлением физики атомного ядра. Отдел релятивистской ядерной физики занимается изучением кварк-глюонной материи. К ядерной физике органически примыкает физика нейтронная, где наша роль на международной арене очень заметна. Кроме того, у нас есть подразделения, занимающиеся физикой нейтрино. В области атомной физики проводятся исследования природы химической связи элементов. В области радиационного материаловедения ведутся фундаментальные исследования физических механизмов радиационной стойкости материалов. Фундаментальные исследования в области физики плазмы нацелены на изучение поведения, динамики и устойчивости плазмы, на решение фундаментальных проблем гидродинамики. Значительны успехи в области физики конденсированного состояния. Таким образом, фундаментальная наука в Курчатовском институте простирается в огромном диапазоне — от фемтомира до атомной физики, далее — до физики твердого тела и до астрофизики. И в каждой из этих областей наши ученые известны на весь мир и играют определяющую роль во многих направлениях исследований. ■

Беседовал Виктор Фридман



Элемент накопительного кольца Курчатовского синхротрона



*Каковы перспективы термоядерной энергетики и насколько нуждается в ней человечество, когда будет построен термоядерный реактор и появится ли у человечества наконец неиссякаемый источник энергии? Об этом и многом другом рассказывает начальник лаборатории физики неравновесной плазмы Института физики токамаков НИЦ «Курчатовский институт» доктор физико-математических наук **Виктор Ильгисонис***

**Р**еакция термоядерного синтеза — основной источник энергии Солнца, где подобные реакции протекают при температуре около 20 млн °С. Сама термоядерная реакция заключается в слиянии ядер изотопов водорода — дейтерия и трития. Смесь этих двух элементов при сильном нагреве превращается в полностью ионизованную плазму, состоящую из электронов и ядер дейтерия и трития. В результате таких реакций выделяется огромное количество энергии.

#### Дело случая

История развития управляемого термоядерного синтеза (УТС) в России и в СССР началась... случайно. В 1950 г. сержант Советской Армии Олег Лаврентьев направил в Центральный комитет ВКП(б) письмо, содержащее предложение по электростатическому удержанию ядер дейтерия сферическими сетками под отрицательным и положительным потенциалом. Можно сказать, письмо Лаврентьева послужило катализатором рождения советской программы исследований по управляемому термоядерному синтезу. Хотя недостатки его предложения были очевидны, И.Е. Тамм и А.Д. Сахаров начали с энтузиазмом развивать идею и вскоре поняли, что можно создать принципиально новое устройство — магнитный термоядерный реактор. В качестве его основы учеными была предложена концепция замкнутой магнитной ловушки, впоследствии получившей название «ТОКАМАК» (ТОроидальная КАмера с МАгнитными КАтушками), ставшее международным неологизмом.

5 мая 1951 г. вышло Постановление Совета Министров СССР, положившее начало первой в мире государственной программе термоядерных исследований под личным руководством И.В. Курчатова. Последующие отечественные достижения в области управляемого термоядерного синтеза (УТС) связаны с именами других великих курчатовцев — Л.А. Арцимовича, М.А. Леонтовича, Е.П. Велихова, Б.Б. Кадомцева, В.Д. Шафранова.

Первый прообраз токамака ТМП — тор с магнитным полем — был создан в 1955 г. А уже настоящий — из нержавеющей стали — токамак Т-1 был разработан в 1958 г. под руководством наших ученых Н.А. Явлинского и И.Н. Головина.

Апофеозом начальной стадии развития токамаков стали результаты исследований, полученные на курчатовском токамаке Т-3: удивительно высокая по тем временам температура электронов — на уровне 1 кэВ, что составляет более 10 млн °С — и относительно длительное время удержания плазмы, значительно превосходившие значения этих параметров, достигнутые на других магнитных ловушках.

В первой половине 1950-х гг. подобные исследования развивались как секретные во всех странах. Но в 1956 г. по инициативе И.В. Курчатова было принято решение эти работы рассекретить. Он первый понял, что исследования такого масштаба одной стране не под силу: они очень наукоемкие, дорогие, для их развития требуются огромные коллективы. С 1956 г. публикации о термоядерных исследованиях были открыты, международное сотрудничество в этой области стало реальностью. Началось «шествие» токамаков по всему миру — от США до Европы и Японии. Всего в мире было сооружено более сотни установок типа токамак. Это устройство стало главным в исследованиях высокотемпературной плазмы во всех термоядерных лабораториях мира.

В нашей стране, в Курчатовском институте, была создана установка Т-10, которая в 1970-е гг. была самой крупной в мире. В 1979 г. у нас появилась установка Т-7 — первый сверхпроводящий токамак с системой неиндукционного поддержания тока. Установка Т-10 успешно работает до сих пор. Ее отличительной чертой была и остается организация мощного нагрева электронного компонента плазмы с помощью сверхвысокочастотных электромагнитных волн. У нас были изобретены специальные приборы — гиротроны, с помощью которых и удалось достичь температуры на уровне 100 млн °С. Это тоже стало мировым рекордом. И, наконец, в 1988 г. был запущен сверхпроводящий токамак Т-15 — уже на новом передовом сверхпроводнике из сплава ниобия и олова. В 1990-е гг. было экспериментально открыто явление улучшенного удержания самоорганизующейся плазмы, которое с еще большим основанием позволило рассчитывать на переход к термоядерным параметрам.

ITER — это не просто кооперация ученых разных стран, а шаг вперед всей нашей цивилизации. Никогда

# Ловушка для Солнца

*Побочным продуктом термоядерных исследований стали многочисленные плазменные технологии, которые уже нашли свое применение в промышленности. Это мощные генераторы электромагнитного излучения, различные плазмотроны, применяющиеся для разнообразных технологических целей*

еще человечество не строило установок такого высочайшего уровня сложности с таким объемом финансовых затрат. Это гигант высотой около 30 м, весящий 23 тыс. т, с объемом плазмы 840 куб. м. И самое главное: 150 млн °С в непрерывном режиме горения. Особо хочу подчеркнуть заслугу в создании *ITER* нашей страны. В его основе — тот самый токамак, идея которого была предложена и воплощена впервые в мире в Курчатовском институте. Идея создания международного экспериментального термоядерного реактора *ITER* была выдвинута президентом НИЦ «Курчатowski институт» академиком Е.П. Велиховым еще в 1980-е гг. С 1988 г. концепция *ITER* развивалась в содружестве четырех участников — России, США, Евросоюза, Японии. Сейчас в проекте участвуют уже семь стран — к первым участникам присоединились КНР, Южная Корея и Индия. Каждая из многочисленных

систем установки неповторима по масштабам и сложности производства. Аналога такого проекта до сих пор в научном мире не было. Прогнозируемый срок службы *ITER* — 25 лет. Предполагается, что за это время все знания, которые мы планируем от него получить, будут освоены учеными, и дальше либо состоится переход к машине следующего поколения (например, *DEMO*), либо появится что-то принципиально новое.

Будучи полноправным участником проекта, Россия вносит 9% стоимости сооружения *ITER* в виде высокотехнологичного уникального оборудования. Для выполнения обязательств РФ в рамках проекта задействовано около 30 научных и производственных организаций. Курчатowski институт в значительной степени координирует их деятельность в этом грандиозном мегапроекте. Это касается и разработки магнитной системы, революционного производства сверхпроводников для магнитной системы *ITER*.

Приняв участие в проекте *ITER*, мы, помимо прочего, создаем технологическую базу для нашей промышленности. Необходимо организовать испытания наукоемких изделий. Такими экспериментами занимаются в НИЦ «Курчатowski институт» на плазменных установках. В создании закрепленных за РФ систем для диагностического комплекса Курчатowski институт, например, разрабатывает диагностику спектрометрии линий изотопов водорода и осуществляет научный контроль изготовления соответствующих элементов для *ITER*.

«Побочным продуктом» термоядерных исследований стали многочисленные плазменные технологии, которые уже нашли свое применение в промышленности. Это, например, мощные генераторы электромагнитного излучения, различные плазмотроны, которые, кстати, применяются не только для заполнения плазмой магнитных ловушек, но и для разнообразных технологических целей. Или плазменный скальпель, который в настоящее время считается одним из лучших инструментов в хирургии. Или плазменный ускоритель — устройство, способное выбрасывать из себя мощный поток плазмы, в отличие от токамака, где плазма удерживается в замкнутом пространстве. Его идея, как и концепция стационарного плазменного двигателя (СПД), принадлежит нашему сотруднику — доктору физико-математических наук, профессору А.И. Морозову. Сейчас СПД выпускают серийно, ставят на многие наши космические аппараты.

Упрочнение поверхности материалов (например, кромки режущих инструментов) с помощью плазменных технологий может повысить их износостойкость на порядок. Разработанная в Курчатowski институте



В.И. Ильгисонис

технология ионной имплантации для упрочнения материалов режущих инструментов легла в основу одного из первых в нашей стране нанотехнологического проекта, внедренного в производство на НПО «Сатурн».

Или, например, импульсная магнитная сварка — технология, которая тоже вышла из стен Курчатowski института. Она позволяет крепко-накрепко сварить между собой материалы, которые не скрепляются никаким другим способом. Подобные соединения нужны для решения специальных задач и в космической промышленности, и в физическом эксперименте, и в медицинском оборудовании.

Водородная энергетика — это самостоятельная область альтернативного (относительно углеводородов) топлива. Ее появлением мы во многом обязаны плазмохимии, а плазмохимические процессы, в свою очередь, начали развиваться как побочная ветвь термоядерных исследований. Плазменный разряд обладает некоторыми свойствами, позволяющими проводить такие химические реакции между веществами, которые в нормальных условиях невозможны. Одни из первых плазмохимических установок в нашей стране были созданы в Курчатowski центре, в его составе было сформировано целое подразделение, где ученые занимались сложными масштабными плазмохимическими процессами.

Сегодня известно несколько способов получения и хранения водорода. Этот газ можно извлекать из воды путем электролиза, можно — из углеводородов, из того же метана путем конверсии и даже из биомассы. Выгоднее хранить водород в виде каких-либо химических соединений

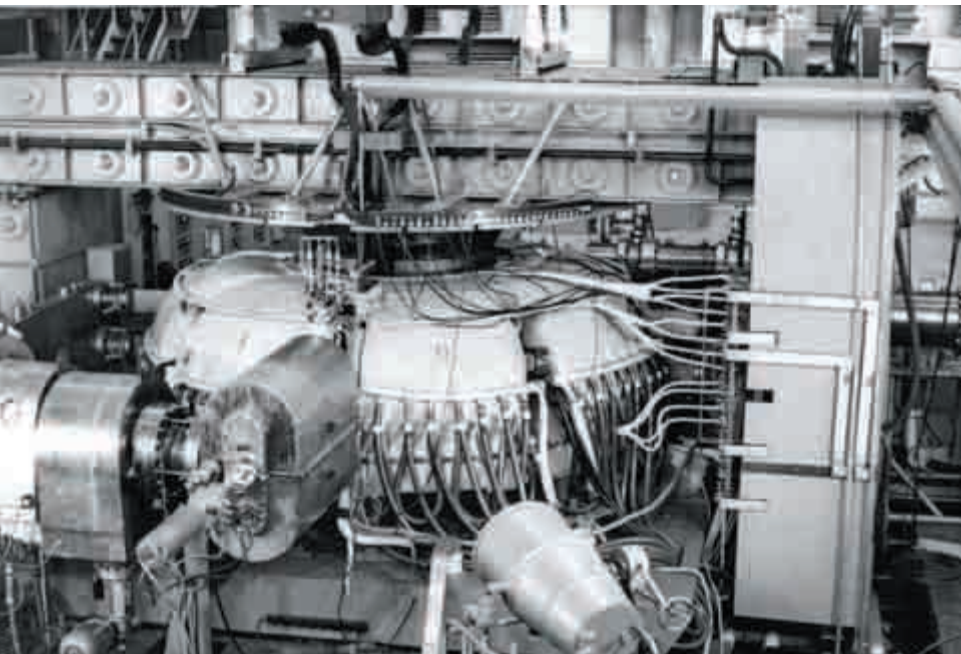
или используя углеродные наноструктуры.

Сегодня достоинства термоядерной энергетики очевидны, история развития УТС подошла к тому моменту, когда во всем мире серьезно рассматриваются проекты строительства термоядерных станций.

Нужна ли термоядерная энергия современному человечеству? В настоящее время оно не готово к этому, прежде всего ментально. Эта отрасль не способна занять сейчас соответствующую экономическую нишу — нет механизмов, которые вынудили бы нефтяные и другие добывающие компании отказаться от мгновенной и постоянной прибыли и отдать термоядерной энергетике соответствующий участок рынка. Но это не означает, что не стоит дальше развивать термоядерные технологии и ждать, пока в них не возникнет реальная необходимость. Подобные технологии чрезвычайно сложны, и только многолетние систематические усилия человечества позволяют ему подготовиться к ситуации, когда в этой энергии возникнет реальная необходимость.

Когда создавалась первая атомная станция, ни о каком экономическом выигрыше от производства электроэнергии на АЭС и речи быть не могло. А сегодня ведущие мировые страны уже не могут обойтись без атомной энергетики. Нельзя забывать и о политическом значении термояда. Только сильные, смотрящие вперед державы развивают термоядерную программу. И наша страна, представленная Курчатowski институтом, занимает достойное место в этой области. ■

Беседовала Олеся Пенкина



Токамак Т-3

# От нейтрино к 3D-томографам

*Исследования нейтрино — традиционная область для Курчатовского института. Сегодня здесь сосредоточивается около 80% всех российских работ по его физике. О нынешних и будущих проектах в этой области мы говорим с заместителем директора Института общей и ядерной физики Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» доктором физико-математических наук, профессором Михаилом Скорохватовым*

**Н**ациональный исследовательский центр «Курчатовский институт» подготовил развернутую программу работ по нейтринной физике до 2020 г. В этой программе есть как фундаментальные исследования, так и создание детекторов нового поколения, междисциплинарные работы по физике Солнца, астро- и геофизике, и даже практические приложения, например по мониторингу ядерных реакторов для задач МАГАТЭ или созданию медицинских 3D-томографов.

## Физика нейтрино в Курчатовском институте

Существование нейтрино предсказал в 1930 г. Вольфганг Паули. Основное свойство этой частицы — колоссальная проникающая способность. Взаимодействие нейтрино с веществом на 19–20 порядков меньше, чем характерное взаимодействие нейтронов или гамма-квантов. Поэтому его крайне тяжело регистрировать, и это смогли сделать только в середине 1950-х гг. Атомный реактор — самый интенсивный искусственный источник нейтрино (точнее, антинейтрино), образующихся в результате распадов продуктов цепной реакции деления. Регистрация антинейтрино по реакции с протонами мишени используется до сих пор в самых современных детекторах.

В Курчатовском институте в конце 1960-х гг. была разработана программа исследований под руководством наших выдающихся ученых П.Е. Спивака и Л.А. Микаэляна. Были созданы две нейтринных лаборатории: на атомной станции в Ровно и в Красноярске. И здесь мы достигли очень больших успехов, поскольку большая часть мировой статистики принадлежала Курчатовскому центру.

## Свойства нейтрино

Мы знаем сегодня, что нейтрино — фермион, т.е. спин его равен одной второй и у него нет заряда. Процессы, в которых участвуют нейтрино, обусловлены слабым

взаимодействием. Известно также, что существуют три поколения нейтрино — электронное, мюонное и тау-нейтрино. Каждое из них соответствует тому заряженному лептону (электрону, мюону или тау), который сопровождает рождение или поглощение нейтрино.

Долгое время считалось, что у нейтрино нет массы покоя, потом это мнение изменилось на противоположное. Тем не менее в прямых экспериментах массу нейтрино никто никогда не измерял. Но есть эксперименты, в которых были найдены ограничения на ее предел для всех трех поколений. Лучшее ограничение на массу электронного нейтрино получено на спектрометре, который был разработан в Курчатовском институте. Эксперимент проводился в Троицке, и там выяснили, что масса электронного нейтрино не может быть выше 2,2 эВ.

## Солнечный парадокс и осцилляции нейтрино

Проверка в нескольких крупномасштабных экспериментах подтвердила, что до Земли долетают потоки солнечных нейтрино уже смешанного состава — как электронные, так и мюонные. Превращение одного поколения нейтрино в другое получило название нейтринных осцилляций, и этот феномен сегодня активно изучается в экспериментах с солнечными и атмосферными нейтрино, а также на ускорителях и реакторах.

Другой аспект исследований солнечных нейтрино связан с изучением механизмов генерации энергии Солнца. Изучение состава солнечных нейтрино может пролить свет на различные астрофизические проблемы.

Курчатовский институт принимает участие, пожалуй, в самом сложном с технической точки зрения из таких экспериментов — международном проекте *BOREXINO* в итальянской подземной лаборатории в Гран-Сассо-д'Италия. Наш институт — ответственный от России, а всего в эксперименте на разных стадиях участвовали 11 стран. Здесь изучаются фундаментальные свойства нейтрино, проверяется Стандартная модель, проводятся

междисциплинарные исследования по физике Солнца и геофизике, разрабатываются новые технологии.

Установка *BOREXINO* — это фактически очень большой сцинтилляционный спектрометр. В центре — прозрачный шар из нейлона радиусом 4,25 м, заполненный 300 т чистой сцинтилляционной жидкости, в которой и взаимодействуют нейтрино. Этот шар висит в другой жидкости, заполняющей стальную сферу. А вокруг — 2,4 тыс. т ультрачистой воды в цилиндрическом корпусе. И все это спрятано в толщу горы. Такие уникальные условия нужны для того, чтобы избавиться от постороннего радиоактивного фона. Сегодня *BOREXINO* — самая радиационно чистая среда, которая есть на Земле.

Несколько впечатляющих результатов уже получены. Например, впервые проведены прецизионные измерения потоков солнечных нейтрино с энергиями менее 2 МэВ в реальном времени, подтверждено усиление осцилляций солнечных нейтрино более высоких энергий, получены новые ограничения на вероятность редких процессов, нарушающих Стандартную модель, и др. В Курчатовском институте мы создали отдельный измерительный комплекс для поиска взрывов сверхновых звезд. С помощью такого курчатовского сегмента экспериментального комплекса *BOREXINO* ведется постоянное мониторингирование нейтринных сигналов, а все данные передаются в наш институт для анализа.

Помимо нейтрино из космоса *BOREXINO* детектирует и нейтрино из недр Земли — так называемые геонейтрино, рожденные в процессах радиоактивного распада природных элементов. Регистрация геонейтрино в эксперименте *BOREXINO* доказывает, что значительная доля генерируемого нашей планетой тепла стала по своей природе радиогенной. Прикладное значение исследований связано с влиянием огромного количества тепла, производимого в недрах нашей планеты, на конвективное движение внутри земной мантии, которое вызывает вулканическую активность, перемещения тектонических плит и сейсмическую активность, а также генерирует механизм геодинамо, создающего магнитное поле Земли.

Есть область, где нейтринные технологии уже сегодня могут применяться, и лидер здесь — НИЦ «Курчатовский институт». Сегодня контроль активной зоны ядерного реактора осуществляется внутренними датчиками. Но в случае разных обстоятельств или аварий хорошо иметь датчики, которые следят за состоянием активной зоны снаружи, за биологической защитой. Пионерские работы по такой удаленной диагностике были проведены под руководством Л.А. Микаэляна еще в 1980-х гг. Единственный метод контроля режимов работы реактора, который невозможно сфальсифицировать, — нейтринный.

Среди других перспективных технологий, которые впервые были отработаны в России, — детекторы на жидких благородных газах. Эмиссионные детекторы на жидких благородных газах наиболее перспективны для поиска частиц темной материи. Помимо собственно нейтринной физики такие детекторы представляют

большой интерес для ядерной медицины. С их помощью можно создать новые классы томографов. Например, если заменить детекторами на жидком ксеноне современные дорогостоящие кристаллы, то можно разработать и создать томограф для всего тела — 3D-томограф.

Следующая задача, которая сегодня актуальна, — стерильные нейтрино. В Курчатовском институте была разработана методика и создан детектор для прецизионного измерения сечения реакции взаимодействия электронного антинейтрино с протоном. Измерения были проведены на реакторах в Ровно и в Бюже (Франция), в результате было получено рекордное по точности значение, которое вошло во все справочники и по которому нормируют все реакторные эксперименты. Ситуация приобрела драматический характер после работы французских физиков, в которой была рассчитана ожидаемая величина сечения, и это теоретическое значение оказалось больше измеренного на несколько процентов. Эффект получил название «аномалия реакторных антинейтрино», и для его объяснения выдвинута гипотеза, что существует по меньшей мере еще одно состояние нейтрино, которое не взаимодействует с веществом обычным образом и поэтому названо стерильным. Осцилляции реакторных антинейтрино в это состояние и стали причиной наблюдаемого дефицита. Для проверки гипотезы планируются новые эксперименты, в частности в России, на новом исследовательском реакторе ПИК в ПИЯФ и на экспериментальном комплексе *BOREXINO*.

Думаю, дальнейшие исследования нейтрино преподнесут нам еще немало сюрпризов и откроют возможность изучения явлений за пределами Стандартной модели, актуальных для построения более фундаментальной теории субатомной материи, теории эволюции Вселенной и решения других научных проблем. ■

Беседовал Алексей Торгашев



Монтаж спектрометра BOREXINO



*Курчатовский институт осуществляет научное руководство созданием ядерно-энергетических установок транспортного направления и развитием морских ядерных энерготехнологий.*

*В институте выполняется широкий фронт работ от нейтронной физики, теплогидравлики и динамики реакторов до системного анализа ядерной безопасности и радиационных проблем.*

*В проводимых работах развиваются и внедряются современные информационные технологии, 3D-моделирование, супервычисления.*

*Под научным руководством курчатовцев создано почти 500 ядерных реакторов для объектов военно-морского флота и атомного ледокольного флота. Сегодня специалисты института принимают участие в испытаниях реакторных установок на атомных подводных лодках проектов нового поколения, в создании установок нового универсального атомного ледокола и строящейся головной плавучей АТЭС «Академик Ломоносов». Ведется разработка тренажеров для подготовки личного состава и обучения специалистов ВМФ и Атомфлота.*

*Институт принимает участие в проведении поисковых научных работ по перспективным проектам морских ядерных энергоустановок, новым областям и видам применения морских ядерных энерготехнологий для нужд обороны, освоения арктического шельфа и развития экономики страны.*

# Курчатовский СИНТЕЗ

*Сегодня и в отдаленном будущем достойной альтернативы ядерной энергетике нет. В этом уверен заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт» по направлению «Ядерные технологии» доктор технических наук, профессор Ярослав Штромбах. Ядерные технологии нужно изучать, совершенствовать, делать все более безопасными и эффективными*

## Ядерные реакторы — национальное достояние

Курчатовский институт начинался как секретная Лаборатория № 2, созданная для решения задачи по созданию советской атомной бомбы. Первым важнейшим этапом на этом сложном пути стал запуск в декабре 1946 г. реактора Ф-1. Уже были сброшены американские атомные бомбы на Хиросиму и Нагасаки. Такая демонстрация силы означала, что нам необходимо догнать американцев в кратчайшие сроки. Реактор Ф-1, наша «монтажка», как его тогда называли, сегодня продолжает работать в качестве эталона нейтронного потока, став памятником науки и техники, национальным достоянием.

Из Курчатовского института вышли первые промышленные реакторы для наработки оружейного плутония. Одновременно здесь началась и вторая линия работ по получению ядерной взрывчатки, а именно по разделению изотопов, были запущены первые газодиффузионные каскады для обогащения урана. 22 июня 1948 г. И.В. Курчатов с сотрудниками на Урале вывели на проектную мощность 100 МВт плутониевый реактор. Вскоре началось систематическое накопление плутония — это был завершающий этап перед испытанием бомбы.

В 1949 г. под руководством Курчатова на полигоне в Семипалатинске была испытана первая советская атомная бомба. Именно созданный нашей страной ядерный щит стал на все последующие годы гарантом, основным сдерживающим фактором против развязывания очередной мировой войны.

## Реакторная зона

Уже при первых опытах на Ф-1 стало ясно, что в реакторе, где цепная реакция не развивается мгновенно, как при взрыве, интенсивное выделение тепла может продолжаться месяцы и даже годы, расходуя всего несколько килограммов урана. Все 1950-е гг. развитие Курчатовского института шло под флагом применения атомной энергии по всем практическим направлениям.

Основных было два: военное и мирное. Дальше все ветвилось уже в геометрической прогрессии, и мирное направление впоследствии обогнало военное. Уже к концу 1940-х гг. Курчатов выдвинул задачу спроектировать и построить опытно-промышленную атомную электростанцию. Первая в мире атомная станция в Обнинске была пущена в 1954 г. под руководством Курчатова и его заместителя Анатолия Петровича Александрова. Главным конструктором Обнинской АЭС был академик Николай Антонович Доллежал, но всеми научными работами руководил Курчатов.

Многие вещи, которые на Обнинской АЭС впервые были реализованы в металле, в конструкциях, задумывались и просчитывались здесь, в Курчатнике. Тогда и зародилось реакторное материаловедение как самостоятельное научное направление. Всего через год после пуска первой в мире АЭС И.В. Курчатов и А.П. Александров возглавили разработку программы развития мирной ядерной энергетики в СССР.

Конструкция установленного на Обнинской АЭС реактора АМ-1 («Атом мирный») оказалась тупиковым вариантом. Стало понятно, что главные проблемы при строительстве и эксплуатации новых реакторов будут связаны с материалами. До того никто не работал с материалами, подвергавшимися интенсивному облучению. В таких условиях они в корне меняют свои свойства. Первые же работы по облучению металлического урана показали, что стержни начинают изгибаться. Анизотропный рост урана приводил к большим деформациям, потере формы и т.д. Надо было искать материалы, которые будут устойчивы под облучением. Потенциал СССР в этой области был настолько велик, что удалось за короткое время создать целый ряд уникальных материалов. Курчатовский институт в сотрудничестве с материаловедческими институтами — ВНИИНМ, ВИАМ, НИИГрафит и другими — доводил их до конечного результата, создавая реальные материалы и конструкции, новые реакторы. Это, например, первый исследовательский реактор, реактор физический тепловой (РФТ), пущенный в 1952 г. в комплексе с «горячей» материаловедческой лабораторией. Велась активная работа по усовершенствованию урановых теплоделяющих элементов (ТВЭЛ). Здесь также испытывались и материалы для других реакторов, которые потом строились в стране. При этом развивалась и экспериментальная база для фундаментальных исследований — большой циклотрон, электростатические генераторы и другие установки.

## Морской атом

В начале 1950-х гг. одной из основных задач института была задача создания реактора для подводных лодок. Работу над ним возглавил пришедший из Института физических проблем А.П. Александров.

Разработка активных зон реакторов привела к появлению водо-водяных реакторов (ВВР). Они — основа нашего атомного флота. Позже появились и другие аппараты, жидкометаллические и т.д. Но это направление оказалось магистральным. В 1958 г. вторая в мире (первую успели построить американцы) подводная лодка была спущена на воду под научным руководством Курчатовского института, а в 1959 г. заработал первый в мире атомный ледокол «Ленин». Это большое направление развивается до сих пор, уже создано четыре поколения атомных подводных лодок.

## Исследовательский атом

Сегодня в мире большинство исследовательских реакторов остановлены. Но Курчатовский институт остается «островом», на котором до сих пор вводят в действие новые реакторы. В состав НИЦ не так давно вошел Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова. Сейчас там вводится в эксплуатацию самый мощный по нейтронным потокам реактор — ПИК (пучковый исследовательский реактор). Идеологию реактора с высокими потоками разработал в свое время наш выдающийся физик-ядерщик Савелий Моисеевич Фейнберг. Самый мощный по этому параметру реактор в свое время был



Я.И. Штромбах

построен в НИИАР, в Димитровграде. На нем удалось получить самый большой в мире поток тепловых нейтронов. Эта идея была позже развита учеными ПИЯФ.

В 1958 г. в Курчатковском институте был пущен реактор, который дал физикам возможность проводить работы в области физики твердого тела, ядерной физики, нейтронной дифрактометрии и т.д. с использованием нейтронов из горизонтальных каналов.

Курчатковский институт — головная научная организация в разработке исследовательских реакторов. Лаборатория физики и техники исследовательских реакторов ИАЭ им. И.В. Курчатова принимала участие в создании исследовательских реакторов во многих республиках Советского Союза и за рубежом. Институт каждые два года проводил координационные совещания по исследовательским реакторам по всему Советскому Союзу — в Томске, Алма-Ате, Ташкенте, на Украине и т.д.

### Понять и предотвратить

Сейчас мы выводим из эксплуатации МР, мощный 50-мегаваттный реактор, построенный еще в 1960-х гг., через который прошли все тепловыделяющие элементы для реакторов на тепловых нейтронах Советского Союза. Этот реактор имел максимум 14 петель, т.е. эмулировал 14 различных реакторов с различными теплоносителями: водяными, пароводяными, жидкометаллическими, газовыми. В нем отработывались тепловыделяющие элементы для разных реакторов: подводных лодок, ледоколов, энергетических и исследовательских реакторов.

В комплексе с реактором МР работала «горячая лаборатория», занимавшаяся облученными материалами и ядерным топливом. Она внесла большой вклад в вопросы реакторного материаловедения и создания новых материалов.

В последние годы, с приходом в Курчатник нового директора М.В. Ковальчука, наступил этап возрождения института. Работы в нашей «горячей лаборатории» успешно идут уже на наноуровне. Благодаря уникальным приборам теперь можно увидеть малейшие изменения свойств и работоспособности материала под воздействием облучения. Одна из основных проблем в области реакторного материаловедения — хрупкость корпусов реакторов. Корпус реактора рассчитан на 30–40 лет работы. Сегодня мы можем без ущерба безопасности увеличить его ресурс до 60 лет.

В 2006 г. по инициативе М.В. Ковальчука мы собрали команду организаций, разрабатывающих сталь для корпусов реакторов, и запустили цикл работ по созданию новых видов стали — и сейчас уже получили материалы, которые смогут увеличить ресурс корпусов до 100 лет.

В последние годы эти работы вышли на новый уровень, т.к. мы располагаем сегодня мощным исследовательским комплексом, включающим Курчатковский специализированный синхротронный источник, нейтронный реактор, суперсовременную электронную микроскопию. Нейтроны и рентгеновское излучение хорошо дополняют друг друга как методы исследований. Там, где рентген чего-то не может, часто выручают нейтроны. Сегодня в мире существует всего несколько научных центров, где вместе работают нейтронный и синхротронные источники.

Наши технологии позволяют получать данные о том, что происходит в материале на наноуровне. Например, преципитаты, которые вносят главный вклад в радиационное охрупчивание, имеют средний размер порядка 2–3 нм. Изменения, происходящие на этом уровне, приводят к тому, что сталь становится хрупкой при достаточно высокой температуре.

В Курчатнике есть также реакторы нулевой мощности, в которых смоделированы активные зоны реакторов различного типа, так называемые критические сборки, т.е. они загружены топливом, но работают на уровне нулевой мощности, и в них изучаются физические параметры активных зон, влияние различных материалов, поглотителей и т.д.

И несколько слов о космических разработках. Курчатковский институт внес большую лепту в создание бортовых источников питания для космических аппаратов, построенных на базе термоэлектрических и термоэмиссионных реакторов. Первый реактор «Ромашка» был высокотемпературной активной зоной с термопарами. Реактор «Енисей» использовал термоэмиссионный способ преобразования энергии. Сегодня Курчатковский институт в кооперации с организациями ГК «Росатом» (НИКИЭТ, ФЭИ) участвует в создании реактора мегаваттной мощности для орбитального космического аппарата.

### Игрушка для ученых

В начале 1950-х гг. в то, что мирный атом может стать серьезным фактором экономики, энергетики, мало кто верил. И реакторы были еще несовершенны, и границ всего этого никто не понимал, а нефти, казалось, хватит навсегда, и никакой энергетический кризис не грозил.

Тем не менее гениальное предвидение таких людей, как Курчатов и Александров, привело к тому, что ядерная энергетика у нас начала развиваться. Была создана программа развития энергетики в СССР, в которую вошли два основных направления. Это энергетические водородные реакторы (ВВЭР) и реакторы большой мощности канальные (РБМК). Сегодня в мире в основном используются реакторы с водой под давлением (PWR-реакторы), а в России — ВВЭР. При оценке возможности быстрого развития атомной энергетики в середине 1960-х гг. руководство министерства среднего машиностроения понимало, что построить столько водо-водяных реакторов, как в Америке, нам будет сложно.

Это и сегодня непростая задача. Корпус реактора и корпус парогенератора — крайне сложные конструкции. В связи с этим было принято решение создать реактор на основе опыта эксплуатации промышленных реакторов на наших комбинатах, на которых нарабатывался плутоний. Был создан реактор для атомной энергетики — РБМК. Такие реакторы эксплуатировались и в Чернобыле. После событий 1986 г. это направление практически перестало развиваться, хотя и сегодня почти половина атомной электроэнергии в России производится на реакторах РБМК. После чернобыльских событий было сделано все, чтобы они стали абсолютно безопасными с физической точки зрения. Были изменены система управления защиты и состав зоны, уран-графитовое отношение.

### Работы над ошибкой

В Курчатковском институте было проведено несколько важных в этом плане экспериментов. В рамках ряда международных проектов плавил в больших электропечах материалы активных зон атомных реакторов: материал и корпуса, и топливных кассет, и строительных конструкций. Таким образом мы получали так называемый кориум и изучали его свойства. Эти работы привели к тому, что для минимизации последствий тяжелых аварий с расплавлением активной зоны и выходом расплава из корпуса реактора были разработаны так называемые «ловушки расплава». Под реактор вставляется охлаждаемая ловушка с «жертвенным» материалом, который принимает на себя основную энергию расплава. И вместе с другими современными средствами активной и пассивной безопасности эта ловушка серьезно повышает защищенность станции. В последнем проекте удалось снизить санитарно-защитную зону с 3 км вокруг реактора до 800 м, а зону наблюдений с 25 км до 8 км.

Всего под нашим научным руководством создано 69 реакторов типа ВВЭР. Одними из самых успешных стали поставленные нами в Финляндию реакторы ВВЭР-440 для АЭС «Ловииаса». Последние проекты, реализованные

за рубежом под научным руководством и при непосредственном участии Курчатковского института, — АЭС «Тяньвань» в Китае и АЭС «Куданкулам» в Индии.

Сегодня Курчатковский институт участвует в создании реактора ТОИ (Типовой Оптимизированный Информатизированный реактор), в котором применены все основные достижения по обеспечению высокой безопасности.

Свыше 90% энергии, запасенной на Земле в виде всех ископаемых ресурсов, составляет энергия, которую можно получить при делении урана-238, составляющего 99,3% в природном уране. Это, несомненно, ставит задачу использования в будущей атомной энергетике этого ресурса. При этом возникает ряд вопросов по развитию атомной энергетики как системы со сложными технологическими переделами внутри. Наш институт работает в области разработки стратегии развития такой системы, которая в будущем должна быть многокомпонентной и включать в себя наряду с реакторами на тепловых нейтронах большую долю реакторов на быстрых нейтронах. Это позволит реализовать так называемый замкнутый топливный цикл, который обеспечит атомную энергетику топливом с минимальным извлечением природного урана из природы.

Термоядерные исследования, проводимые в Курчатковском институте, и создаваемые на их базе термоядерные реакторы также могут внести значительный вклад в стратегию развития ядерных технологий будущего.

### Материальная часть

Положительный баланс термоядерного реактора в первую очередь достигается за счет выхода нейтронов, которые можно использовать в какой-то сложной схеме.



Комплекс «горячих камер»

например нагревать ими воду и получать пар, как в ядерном реакторе. Другой путь — использовать нейтроны из термоядерного реактора в комплексе с различными ядерными установками. Один из путей — создание blankets, содержащего уран-238 или торий-232, в котором под воздействием нейтронов будет нарабатываться плутоний-235 или уран-233, и использование полученного ядерного топлива в атомных реакторах.

Это будет более экологически чистый вариант по сравнению с получением плутония в ядерных реакторах, т.к. при радиационном захвате не образуются осколки деления и требуется в десять раз меньшая мощность охлаждения. Можно построить рядом с термоядерным реактором подкритический жидкосолевой реактор, в котором будут прокачиваться жидкие соли. Но для того чтобы облегчить эти схемы в реальные технические решения, нужно сначала разобраться с материалами.

**Привести в порядок свою планету**

В процессе строительства, эксплуатации и ликвидации ядерных объектов было сформировано очень много так называемых «хранилищ исторического наследия». Когда создавались новые реакторы, менялась их конструкция, радиоактивные продукты этой деятельности хранились на территории института: клади на бетонные плиты, сверху закрывали плитами. На территории было около десятка таких хранилищ. Когда стало ясно, что их надо выводить, эта задача оказалась довольно сложной.

Для реализации задач по реабилитации был разработан целый ряд интересных методов, а также созданы специальные приборы, такие как гамма-визоры и гамма-сканеры. Кроме того, мы разработали метод очистки почвы, отделения радиоактивной фазы от нерадиоактивной.



Пульты реактора ИР-8



Здание реактора Ф-1

С его помощью практически в шесть раз снизили объемы, т.е. всего 15% отправили на захоронение, а остальное, уже абсолютно безопасное, снова использовали — даже разбили скверик на этом месте.

У нас сейчас огромный парк робототехнических средств, с помощью которых мы можем дистанционно резать опасные конструкции, компактировать, загружать, перевозить. Парк будет использоваться на других объектах в будущем, мы можем предложить свои услуги и опытный персонал.

Курчатовский институт и «Росатом» проводят большие работы на Северном, Тихоокеанском флоте, на наших северных объектах, где за многие годы скопилось большое количество субмарин, выведенных из эксплуатации. Курчатовский институт показал высокую эффективность проведения в больших масштабах работ по утилизации, хранению активных зон и отработанного топлива атомных подводных лодок, по строительству физической защиты таких объектов, т.е. мы занимаемся не только «чистой» физикой, но и организацией серьезных работ в области развития методов реабилитации.

В интересах дальнейшей эволюции атомной энергетики и ядерных технологий в целом крайне необходимо преодолеть психологический барьер у населения Земли, опасющегося последствий этой деятельности. Для этого необходимо очистить планету от радиационного наследия первого периода развития ядерных технологий и в дальнейшем взять этот вопрос под строгий контроль. В России реализуется Федеральная программа в области ядерной и радиационной безопасности, и мы в ней успешно участвуем. Курчатовский институт стоял у истоков великой атомной эры в СССР, и мы с уверенностью продолжаем дело наших великих предшественников. ■

*Беседовал Валерий Чумаков*

# Материаловедение XXI века

*Институт реакторных материалов и технологий (ИРМТ) НИЦ «Курчатовский институт» вырос на основе материаловедческой лаборатории, созданной по идее И.В. Курчатова в 1951 г. для исследования облученных и делящихся материалов. Об истории, а также о настоящем института и его планах нам рассказал директор ИРМТ доктор технических наук, профессор Борис Гурович*

**И**значально здесь занимались повышением ресурса и работоспособности материалов активных зон всех типов реакторов на тепловых нейтронах (кроме реакторов на быстрых нейтронах), а также материалов корпусов водо-водяных реакторов, для атомной промышленности в СССР и зарубежных партнеров.

В сферу наших интересов входили различные типы реакторов. Во-первых, промышленные, на которых шла наработка оружейного плутония, и те, что были предназначены для выработки электроэнергии, — реакторы большой мощности канальные (РБМК). Во-вторых, водо-водяные (ВВЭР) энергетические и транспортные реакторы для атомных подводных лодок и ледоколов. Курчатовский институт по ряду тематик был «научным руководителем» проекта строительства и эксплуатации АЭС, осуществлявшегося в Советском Союзе, — отвечал за испытания и выбор реакторных материалов. Поэтому, когда эти реакторы вступали в строй, все пусковые работы, а также их текущее сопровождение, осуществлялись силами Курчатовского института. Сегодня, когда стране требуется все больше и больше электроэнергии, работы, ведущиеся в ИРМТ, очень востребованы. Причем к старым задачам постоянно добавляется целый ряд новых.

Например, мы участвуем в программе по созданию транспортно-энергетического модуля на основе ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса. Кстати, реальных конкурентов на этой ниве у нашей страны пока нет. Кроме того, у нас есть контракты на сопровождение процесса эксплуатации реакторов, в том числе и с зарубежными заказчиками. В нашем институте имеется цепочка так называемых «горячих камер», в которых исследуются реакторные материалы в условиях облучения. Поиск и обоснование способов продления срока службы реакторов типа ВВЭР-1000 до 60 лет — одна из наших приоритетных задач. Ее решение повлечет за собой значимый экономический эффект, ведь выведение из эксплуатации реактора всегда требует замещающих мощностей. В то же время реакторы — самый капиталоемкий на этапе строительства способ получения энергии. Цена одного нового энергоблока ВВЭР может превышать \$3 млрд. И как только вложения оправдываются, а происходит это лет за 20, они становятся самыми прибыльными инструментами в энергетике.



По уровню исследовательских возможностей мы стали сегодня одной из самых продвинутых лабораторий. Мы располагаем комплексом самого современного оборудования для проведения структурных, теплофизических, различного вида спектрометрических, физико-механических, нейтронно-дозиметрических исследований и испытаний материалов.

Сканирующий электронный микроскоп Zeiss Supra позволяет проводить исследования структуры и свойств образцов, напрямую связанные с ходом их деградации: позволяет смотреть образцы сразу после механических испытаний, видеть фазовый, структурный, химический состав материала, определить поверхность разрушения. Уникален также просвечивающий электронный микроскоп FEI Titan. С его помощью мы изучаем образцы толщиной примерно 10–20 нм, которые готовим специальным образом. Почти всегда на нашем уникальном оборудовании работают молодые ученые.

У ИРМТ хорошая динамика: даже в кризисный период объем договоров постоянно растет. Одновременно возрастает и количество научных сотрудников в возрасте до 30 лет — сейчас их у нас больше трети. ■

*Беседовала Анна Шталова*

# Уникальная исследовательско-технологическая база НИЦ «Курчатовский институт»



## Ускорительные комплексы

Курчатовский специализированный источник синхротронного излучения КИСИ  
Ускорительный комплекс У-70  
Ускорительно-накопительный комплекс ИТЭФ-ТВН  
Изохронный циклотрон У-150  
Научно-исследовательский ускорительный комплекс СЦ-1000  
Синхротрон С-230  
Циклотрон Ц-80



## Установки для развития ядерных технологий

Комплекс защитных камер для исследования облученных материалов ИКМЗК  
Критические стенды Аксамит, Астра, Грог, Дельта, Квант, стенд П, РБМК, ЭФИР-2 М  
Теплофизический стенд КС  
Комплекс газовых центрифуг КАСКАД



## Исследовательские реакторы

Нейтронный исследовательский комплекс на базе реактора ИР-8  
Научно-исследовательский реакторный комплекс ВВР-М  
Научно-исследовательский реакторный комплекс ПИК  
Импульсный растворный реактор ГИДРА  
Исследовательские реакторы ГАММА, ОР, Ф-1  
Растворный реактор АРГУС



## Комплекс нейронаук и когнитивных исследований

Тандемный мультифотонный микроскоп  
Установка для фенотипирования поведения животных



## Ядерная медицина

Производство изотопов МРТ, ПЭТ/КТ, ПЭТ для животных



## Плазменные установки

Термоядерные установки Токамак Т-10, Т-15  
Плазменная установка С-300  
Плазменный сепаратор ПС-1  
Плазменный фокус ПФ-3



## Центр обработки данных

на базе Курчатовского суперкомпьютера



## Комплекс нанотехнологий

Нанофаб 100+  
Просвечивающие и растровые электронные микроскопы  
Атомно-силовые микроскопы  
Модульное производство интегральных схем



## Комплекс биотехнологий

Белковая фабрика: от гена до биокристалла  
Системы полногеномного секвенирования и генотипирования  
Лаборатория целевой доставки лекарств





# От атомного проекта до конвергенции

*Директор НИЦ «Курчатowski институт» член-корреспондент РАН Михаил Ковальчук рассказывает, какие научно-технологические прорывы в современной науке выросли из атомного проекта*

**— Михаил Валентинович, когда вы впервые услышали о Курчатовском институте и о его основателе?**

— В СССР фамилию Курчатова знал любой школьник. Он, его сотрудники, созданный им институт уже в 1950-е гг. стали легендарными. Конечно, с самим Курчатовым я не был знаком, лишь читал о нем, слышал от его друзей и соратников. Невозможно представить, как этот человек буквально вытащил на себе всю махину советского атомного проекта. Игорь Васильевич Курчатov был чрезвычайно широко образованным ученым, поэтому он понял и смог решить сложнейшие проблемы атомной энергетики, охватывая самые разные области знаний — химию, физику, геологию, информатику. По сути, он был именно междисциплинарным ученым, это было необходимым требованием для организации новой атомной науки. Научную эрудицию, интуицию, дар собирать вокруг себя настоящих подвижников, концентрировать все силы на достижении приоритета Курчатov сочетал с блестящим талантом организатора. В мировой науке это встречается крайне редко. Он создал с нуля в тяжелых условиях войны совершенную научную систему, школу, которая не только решила в кратчайшие сроки задачу создания ядерного оружия, но и стала родоначальником взрывного развития множества уникальных технологий, научных направлений, которыми мы гордимся и по сей день. Из атомной бомбы возникла атомная энергетика, как одно из ее направлений развилась атомно-водородная энергетика, где для получения водорода используют высокотемпературные газовые реакторы. Следующий шаг — от процесса деления атомного ядра к синтезу, термоядерной энергетике, управляемому термоядерному синтезу, для чего было необходимо освоить магнитное удержание плазмы, а значит, возникла потребность в новых материалах со свойствами сверхпроводимости. В процессе создания атомной бомбы возник атомный реактор, а будучи установленным на подводную лодку, он обеспечил ей недостижимый ранее запас авто-

номности. После этого мы сделали первый в мире атомный ледокол, благодаря чему и сегодня активно присутствуем в Арктике. Для атомного проекта было необходимо научиться выделять различные изотопы и работать с ними, и мы создали промышленность по разделению изотопов, которые лежат в основе ядерной медицины, диагностики, позитронно-эмиссионной томографии, лучевой терапии и т.д. Затем мы начали строить ускорители и нейтронные реакторы, в результате создали уникальную исследовательскую базу, в полной мере работающую сегодня в Курчатовском институте. Так что существенная часть сегодняшней цивилизации так или иначе связана с реализацией атомного проекта И.В. Курчатовым и его сподвижниками.

Я хорошо знал последователя И.В. Курчатова — Анатолия Петровича Александрова. Он сыграл большую роль в моей научной судьбе. А.П. Александров много лет был директором Курчатовского института и президентом АН СССР, обладал огромным авторитетом, жизненным опытом и колоссальной интуицией. Он был выдающимся ученым, организатором и человеком с большой буквы. Академик Александров умер зимой 1994 г., это был самый разгар «лихих девяностых» — провальных лет и для науки, и для страны. На Курчатовском институте тяжело сказывался постчернобыльский синдром. Чернобыль был в каком-то смысле не только технологической аварией, но и катастрофой всей советской системы, идеологической бомбой под СССР, исключительно «удобной» для раскручивания образа плохо управляемой страны, опасной для мира.

**— Как вы вошли в Курчатowski институт?**

— В начале 1980-х гг. во всем мире начиналось развитие микроэлектроники, и благодаря А.П. Александрову наши совместные с Курчатовским институтом работы были включены в межведомственную программу по микроэлектронике. В рамках этой деятельности мы познакомились с Евгением Павловичем Велиховым. Тогда это был его главный научный интерес после физики плаз-



Большое кольцо Курчатовского синхротрона

Я включился в работу Курчатовского института в 1998 г., будучи при этом директором академического Института кристаллографии. На синхротроне все еще было в стадии строительства, монтажа первых станций: ПРО, БЕЛОК, РКФМ, рентгеновской кристаллографии, спроектированных и созданных в ИК РАН. В октябре 1999 г. пустили первый пучок, на торжественную церемонию открытия приехал премьер-министр В.В. Путин. Это было знаковым событием: впервые за десятилетие удалось сделать важный шаг для всей нашей науки. По сей день синхротрон Курчатовского центра синхротронного излучения (КЦСИ) остается единственным специализированным источником СИ на постсоветском пространстве.

В 2005 г. Е.П. Велихов предложил мне стать директором Курчатовского института. Для меня это стало неожиданностью. Мы только начали выкарабкиваться из провала предыдущего десятилетия, возглавляемый мной Институт кристаллографии РАН успешно развивал новые темы, связанные с белковой кристаллографией, нанобиотехнологиями, рентгеновскими методами диагностики, получением молекулярных пленок и т.д., а тут предстояла абсолютно новая, колоссальная по масштабам и сложности задача.

Предыдущие перестроечные годы не прошли даром и для такого гиганта советской науки, как Курчатовский институт. Вся научная система России за эти годы была дестабилизирована, состояла из кластеров, каждый из которых боролся за выживание. Я глубоко убежден в том, что наука на одной стране мира не восстановилась бы после такого глубокого шока. Мы выжили только благодаря колоссальному потенциалу советской науки, ее научным школам, которые, как каркас, продолжали сдерживать рассыпающуюся на глазах конструкцию. Научные учреждения пустились в свободное плавание, выжидали кто как мог. О развитии в эти годы фактически пришлось забыть, главное было остаться на плаву.

— **Что же помогло Курчатовскому институту сохраниться?**

— Колоссальный потенциал института позволил ему продолжить работу по инерции. Ядерные объекты на его территории стали некоей охранной грамотой от «приватизации» нашей территории в 100 га. Благодаря Е.П. Велихову институт удалось сохранить. Он сам в эти годы продолжал активную деятельность и по развитию Интернета в России, и по запуску своего детища — *ITER*, и по работам в области освоения арктического шельфа. В целом в Курчатовском институте оставались на плаву направления, связанные с ядерной энергетикой — важным стратегическим вектором. Наш атомный комплекс пострадал значительно меньше, чем остальные отрасли российской науки, потому что был востребованным в рамках технологического цикла, который не мог остановиться (плавали подводные лодки, ледоколы, работали АЭС), а в мире существовал платежеспособный спрос на эти технологии.

Шли работы в рамках международных проектов по реабилитации загрязненных территорий, защите ядерных объектов. Важную роль играли *ITER* и *CERN*. Однако было очевидно, что такое скольжение по течению ведет

в никуда. Необходим был новый глобальный проект, который и потащит за собой уже существующие направления, и даст старт принципиально новой науке.

— **Что же стало этим новым «атомным проектом»?**

— Сначала мне представлялось, что таким локомотивом может стать синхротрон с его междисциплинарной сущностью, широкими возможностями для материаловедения, диагностики, но в процессе стало ясно, что это пусть важная, но частность, а нужна идеология научного ренессанса. Постепенно эта идеологическая линия начала вырисовываться все яснее. В провальные для российской науки 1990-е гг. во всем мире произошел гигантский скачок в развитии исследований с использованием СИ. Благодаря рентгеновскому и синхротронному излучению развилась, например, молекулярная биология. Не случайно первые крупные мировые центры наноисследований стали образовываться на базе уже существующих синхротронных источников, прежде всего в США при национальных лабораториях (Аргонской, Брукхейвенской, Беркли и др.). Эти американские наноцентры были разнонаправленными — кто-то ориентируется больше на биотехнологии, кто-то на нанодиагностику и т.д. На Курчатовском синхротроне мы развернули исследования в области материаловедения, нано- и биотехнологий, молекулярной биологии и медицины, методов нанодиагностики с атомарным разрешением. Поэтому к названию «Курчатовский центр синхротронного излучения» в 2005 г. было добавлено «и нанотехнологий», поскольку к тому времени уже стало очевидно их взаимодополнение. Нанотехнологии, суть которых в конструировании принципиально новых материалов путем направленного манипулирования атомами и молекулами, уже давно развивали и в нашей стране, и за рубежом. Но понимание того, что это не просто еще одна новая технология (пусть даже атомно-молекулярная), а переход на новый этап научно-технологического развития, возникло в начале 2000-х гг. В американской инициативе нанотехнологии были определены как национальный приоритет, и США достигли в их развитии больших успехов, опираясь на хорошо структурированную систему науки и образования, четко отлаженные за десятки лет механизмы перетекания научных знаний в промышленность при равном участии государства, бизнеса и науки.

Россия же строила свою стратегию развития нанотехнологий в совершенно иных экономических, политических, социальных условиях. Поэтому наша инициатива помимо своей научной составляющей — принципиально новой методологии — сыграла важную роль и в структурировании научной среды страны. Системная работа в этом направлении началась в 2006 г. после принятия правительством Программы координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в РФ, в рамках которой началось формирование национальной нанотехнологической сети, охватывающей всю страну. Научным руководителем в этом процессе был Курчатовский институт, организационным — Министерство образования и науки, которому удалось за несколько лет с помощью федеральных целевых программ (ФЦП) соз-

дать по всей стране работоспособное нанотехнологическое сообщество: к реализации ФЦП подключились РАН, научные институты различных ведомств, производство. Важным этапом стало совещание по развитию нанотехнологий в России, которое провел в апреле 2007 г. в Курчатовском институте президент В.В. Путин. По его итогам было принято решение о запуске российского национального нанопрокта. Вскоре В.В. Путин объявил об инициативе «Стратегия развития nanoиндустрии». Я считаю, российская инициатива дала толчок развитию нашей науки на новом уровне, в том числе организационном, значительно изменила научный ландшафт.

На территории Курчатовского института мы создали Центр нанотехнологий, который включал в себя новый нанотехнологический корпус, модернизированный Курчатовский центр синхротронного излучения и исследовательский реактор ИР-8. В институте существовала также научная школа по микроэлектронике. Нанотехнологические примеры работ тех лет: разработка новых наноконструкционных материалов для корпусов атомных реакторов, наноструктурированных покрытий для различных инструментов; новые методики синтеза наноструктурных электрокатализаторов и нанесения электрокаталитических слоев; создание экспериментального датчика давления жидких и газообразных сред с уникальными характеристиками на станции ЛИГА с использованием метода глубокой рентгеновской литографии; новые методы получения токонесущих элементов и лент из высокотемпературных сверхпроводников; разработка технологий создания нанопоршковых различного применения — от авиации до биомедицины; создание наноэлектромеханических устройств, в том числе микророботов, способных перемещаться внутри кровеносных сосудов, и т.д.

Постепенно вся логика этих работ подводила к связке нано- и биотехнологий, стали видны слабые места, а именно отсутствие в Курчатовском институте биологического направления. Точнее, такое направление было: изучением влияния радиации на биологические объекты Курчатовский институт занимался еще в 1950–1960-х гг. в своем радиобиологическом отделе, который позднее был преобразован в Институт молекулярной генетики РАН. В Институте кристаллографии РАН мы успешно вели исследования с биокристаллами, занимались космическим материаловедением, шли работы этой направленности и на синхротроне, поэтому мне эта тема была близка.

Инфраструктура Курчатовского института — синхротронный и нейтронный источники, суперкомпьютер, технологический комплекс микроэлектроники — составила мощную базу не только для материаловедческих исследований. Мы начали восполнять недостающую биологическую составляющую, собирать коллектив единомышленников, подключили к работе известных российских биологов, прежде всего академика К.Г. Скрябина. Его коллектив в кратчайшие сроки оборудовал биологический корпус, запустили первые направления — генно-инженерное и белковую фабрику. Первой «выстрелила» расшифровка

генома. В начале 2000-х гг. во всем мире начался прорыв в геномике, связанный с развитием нанотехнологий и молекулярной биологии, в результате чего появилось новое направление — ускоренная расшифровка генома живых существ. Расшифровка генома человека, произведенная в лаборатории геномики Курчатковского НБИКС-центра в 2009 г., была восьмой в мире. Сегодня Курчатовская лаборатория геномики — единственная научная организация в России, где секвенировано уже 20 геномов.

В начале процесса работ по расшифровке генома стало понятно, что это можно быстро осуществить, только имея в распоряжении достаточные вычислительные мощности. Соответственно, следующим этапом стало формирование вычислительного центра на базе Курчатовского суперкомпьютера. Начали его модернизировать, наращивать мощности, т.к. в быстрой обработке огромных массивов данных крайне нуждалось не только генно-инженерное подразделение, но и атомный блок, синхротронно-нейтронный комплекс. Постоянно расширялось наше участие и в международных проектах на базе мегаустановок, началось активное развитие GRID-технологий моделирования, обработки и анализа данных с мегаустановок. На базе НИЦ «Курчатowski институт» создается компьютерный центр первого уровня (Tier-1) сети распределенных вычислений (GRID), которая обрабатывает данные от экспериментов, выполняющихся на Большом адронном коллайдере. В мире всего 11 подобных центров первого уровня.

Сегодня фактически все научные подразделения института используют возможность суперкомпьютерного центра обработки данных, который входит в тройку самых мощных в СНГ и в первую сотню мирового рейтинга. Его активное развитие стало логическим продолжением работ по расшифровке генома и четко обозначило связку «нано-био-инфо». Секвенирование генома было бы невозможным и без белковой фабрики, где исходный материал — гены, а на выходе получают белковые кристаллы, служащие материалом для создания искусственных биологических объектов. Таким образом, на практике хорошо зарекомендовала себя модель, в которой на одну цель работают физики, химики, биологи, специалисты по ИТ. Успеха удалось добиться в кратчайшие сроки еще и потому, что весь комплекс был сосредоточен в одном научном центре в соседних зданиях. Таким образом, была запущена конвергентная модель, которая сегодня стала основой работы всего Курчатовского НБИКС-центра.

**— А сколько примерно длился этот начальный этап?**

— Совпадение, конечно, но порядка девяти месяцев. Оборудовать биологический корпус мы начали в феврале-марте 2009 г., а геном был расшифрован в декабре. Конечно, до этого было много работы по доведению корпуса до нужных технологических требований. Сейчас в нем располагается помимо генно-инженерного подразделения и белковой фабрики суперсовременная лаборатория микроскопии практически со всем спектром приборов просвечивающей, сканирующей, растровой электронной микроскопии, а также отделение нейрофизиологии и когнитивных наук.

Когнитивные науки стали следующим направлением в развитии НБИКС-центра. К ним еще в 2007 г. меня начал подталкивать Е.П. Велихов, и по мере перехода на новый уровень комплекса информационных технологий стало очевидно, что следующий шаг — связь с когнитивными науками. Компьютер, по сути, — не что иное, как подобие человеческого мозга. Мозг — один из сложнейших объектов научного познания, закономерности его работы изучают психологи, лингвисты, психиатры, нейрофизиологи, основываясь на поведенческих, речевых реакциях, условных и безусловных рефлексах. Сегодня мозг можно исследовать уже не только эмпирически, но и с помощью ядерно-медицинских методов (позитронно-эмиссионной томографии, ядерно-магнитного резонанса, энцефалографии), на молекулярном уровне. Открываются перспективы выявления сложнейших связей «мозг — гены», блоков генетической информации, определяющих особенности поведения человека. Когнитивные технологии конвергентны по своей сути, т.к. представляют собой симбиоз нанобиотехнологий с информационными технологиями, основываясь на математическом, предсказательном моделировании, ядерно-медицинских методах исследований и при этом имеют гуманитарную надстройку. С другой стороны, развитие у нас биологического направления показало необходимость подключения и нейрофизиологии. Когда материальная база НБИКС была создана, нужно было подвести под это идеологию, понять, из чего исторически возникла конвергенция, как она будет развиваться, в каком ракурсе здесь применимы гуманитарные науки; так к аббревиатуре НБИКС была добавлена «С» — социогуманитарная составляющая. Так нанизывались звенья будущего НБИКС-центра — казалось бы, далекие друг от друга направления, развивалась инфраструктура. Шли процессы самоорганизации — какие-то параллельно, какие-то вытекали один из другого. Постепенно выкристаллизовывалась идея конвергенции как логическое обоснование, замыкание происходящих практических процессов.

**— Какова конечная цель конвергенции?**

— Конвергенция — следующая ступень междисциплинарности, где изначально заложено слияние наук для достижения единого результата. В основе конвергенции — соединение возможностей современных технологий, прежде всего микроэлектроники, с конструкциями, созданными живой природой. Развивая науки и технологии, человечество копировало живые системы в виде простых модельных систем. На определенном этапе мы научились создавать материалы со свойствами, близкими к живой природе, и наша ближайшая цель — не просто моделировать, а воспроизводить природоподобные системы с помощью конвергентных НБИКС-наук и технологий.

В этом союзе нанотехнологии — материальная базис, новая технологическая культура, основанная на возможности прямого манипулирования атомами и молекулами для получения принципиально новых веществ, структур и систем с заданными свойствами. Сочетание нанотехнологических подходов с достижениями молекулярной биологии, био- и генной инженерии становится базой



Курчатовский специализированный источник синхротронного излучения

для развития нанобиотехнологий, дающих возможность искусственно создавать новые гибридные материалы. Но для того чтобы исследовать и воспроизводить многообразные информационные связи, процессы передачи и преобразования информации в объектах живой природы, необходимо слияние нано-, био- и информационных технологий. Продвигаясь по пути синтеза природоподобных систем и процессов, мы подойдем к созданию антропоморфных технических систем, которые должны обладать элементами сознания, познавательными функциями. Таким образом, нано-, био- и информационные технологии дополняются методами когнитивных наук, изучающих и моделирующих сознание человека.

**— Получается, НБИКС-конвергенция стала основным научным приоритетом Курчатовского института?**

— Все взаимосвязано. Исконным научным приоритетом развития института была и остается энергетика. В области атомной энергетики основная задача ближайшего десятилетия — замкнуть топливный ядерный цикл, совершенствуя технологии, снижая потребление и повышая коэффициент воспроизводства топлива. Например, реакторы на быстрых нейтронах, технологии сверхпроводимости — важное инновационное направление в энергетике.

Более отдаленная перспектива — управляемый термоядерный синтез. Курчатowski институт был родоначальником токамаков, в которых впервые в мире удалось удержать раскаленную до сотен миллионов градусов плазму магнитным полем. Началась гонка национальных программ по управляемому термоядерному синтезу, но вскоре стало ясно, что это крайне технологически сложно и дорого. Поэтому по инициативе Е.П. Велихова восемь стран заключили соглашение о создании международного термоядерного реактора ITER. Его задача — отработать все технические решения, сделать так, чтобы выход энергии стал больше потребления, необходимого для его запуска и функционирования. Мы активно участвуем в этом проекте.

В последние годы идут работы в области биоэнергетики, т.е. получения топлива из биомассы. В нашем институте ведутся разработки биотоплива на основе особого

рода морских водорослей, многие десятилетия развивается возобновляемая солнечная энергетика, но все эти технологии так и не стали мощным энергетическим ресурсом.

**— Почему же эти виды энергетики не стали полноценной альтернативой традиционной, несмотря на их экологичность и ряд безусловных преимуществ?**

— В солнечной энергетике мы моделируем природный процесс фотосинтеза, но вместо недоступной пока для воспроизведения сложной биоорганической структуры зеленого листа используем модельную полупроводниковую структуру. В природе каждый квант солнечного света используется с очень высокой эффективностью, ведь природа — экономный энергопользователь, правильно самоорганизованный. В созданной человеком техносфере мы используем потребляющие колоссальное количество энергии машины и механизмы, для работы которых не хватает экономичных, природоподобных энерготехнологий.

Можно строить все новые атомные станции и увеличивать производство энергии. Но есть и второй путь — создание принципиально новых технологий и способов использования энергии через гибридные материалы и системы на их основе, т.е. замена сегодняшнего конечного энергопотребителя системами, воспроизводящими объекты природы.

Такие гибридные системы с качественно иными механизмами производства и потребления энергии мы и будем создавать с помощью конвергенции наук и технологий. Таким образом, следуя двум главным приоритетам нашего развития, мы развиваем блок атомной энергетики, ядерные технологии и одновременно готовим базу для энергетики будущего, создавая природоподобные системы ее генерации и потребления, на порядки более экономичные, природоподобные.

**— Итак, конечная цель НБИКС-проекта — энергетика?**

— Одна из важнейших, поскольку только достаточное энергообеспечение способствует устойчивому развитию нашей цивилизации. Но НБИКС-проект имеет ярко выраженную направленность на человека. Ведь речь идет о новых материалах и системах, необходимых для

В состав национального исследовательского центра «Курчатовский институт» входят:

|  |                                 |  |  |  |   |  |  |
|--|---------------------------------|--|--|--|---|--|--|
|  | Курчатовский институт<br>Москва |  | Институт теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ)<br>Москва |  | Петербургский институт ядерной физики (ПИЯФ)<br>Гатчина |  | Институт физики высоких энергий (ИФВЭ)<br>Протвино |
|--|---------------------------------|--|--|--|---|--|--|

медицины (включая диагностику, терапию, доставку и изготовление лекарств, замену поврежденных тканей и целых органов), для транспорта, связи, жилья, охраны окружающей среды и т.д.

НБИКС-конвергенция — это направление прорыва для всей мировой науки. В ряде стран, научных центров ведутся исследования в этом направлении. Курчатовский институт уникален именно своей универсальностью, тем, что у нас создана современная инфраструктура по всем направлениям. Работа на такой современной базе, решение самых актуальных, перспективных проблем, достойные условия — все это привлекает молодых сотрудников. Понимая, что без обеспечения кадрами вся наша деятельность бессмысленна, мы создали хорошую образовательную базу. В МГУ я уже семь лет заведу кафедрой физики наносистем — пожалуй, первой междисциплинарной естественнонаучной кафедрой в стране. Три года назад мы открыли в МФТИ НБИКС-факультет (пока единственный в мире), студенты и аспиранты которого ходят на практические занятия в наш НБИКС-центр. Начата работа на физическом факультете СПбГУ, который мы планируем активно привлекать для практической работы в Петербургском институте ядерной физики, входящем теперь в НИЦ «Курчатовский институт».

— Можно здесь подробнее о НИЦ «Курчатовский институт»?

— Как я уже упоминал, в начале 2000-х гг. продолжалось участие российских институтов в международных проектах, т.к. наша научная школа, наш интеллектуальный потенциал всегда очень высоко ценились на международной арене. Я уже много раз говорил о неоднозначности процесса «утечки мозгов», который во многом способствовал нашей быстрой интеграции в международное научное сообщество; можно сказать, возникла целая российская научная диаспора. Однако участвуя в таких проектах, как CERN, ITER, мы были представлены там очень разнородно: каждый из участвующих институтов, министерств и отдельных ученых работал на себя, не было четкой государственной координации. Постепенно в этой сфере навести порядок, мы усилили свое присутствие практически во всех глобальных проектах — CERN, ITER, XFEL, FAIR, BOREXINO, но уже не как частные лица и организации, а системно, мы приобрели новое лицо, участвуя в этом сотрудничестве на равных позициях, интеллектуально, организационно, материально, т.е. на всех уровнях.

Один из самых показательных примеров — лазер на свободных электронах (XFEL), который строится

в Гамбурге с участием 15 европейских стран при определяющем участии Германии и России. В основе принципа работы лазера XFEL лежат разработки советских физиков. Фактически это будет принципиально новый источник рентгеновского излучения нового типа, очень высокой яркости, что позволит изучать процессы, происходящие в веществе в очень короткие (фемтосекундные) временные промежутки. Участие России в проекте XFEL было инициировано Курчатовским институтом, на который правительство возложило роль научного координатора и руководителя.

При внедрении в международное сотрудничество стало очевидно, что зарубежные институты участвуют в подобных проектах четко и организованно, национальными лабораториями, целыми научными обществами, как, например, Объединение им. Гельмгольца в Германии. Среди российских участников зачастую царил неразбериха, шло дублирование каких-то функций, где-то, наоборот, были пробелы. Подобное состояние дел наблюдалось и внутри российского научного сообщества. Кроме того, все глобальные международные проекты базируются на различных мегаустановках (Большой адронный коллайдер в CERN, лазер на свободных электронах в XFEL и т.д.), сложных и дорогостоящих, для создания которых концентрируются все технологические достижения в той или иной области и эксплуатировать которые не под силу даже одной стране, не то что институту. Крупнейшие ядерно-физические центры, имеющие большие, уникальные исследовательско-технологические установки и комплексы, выступают своеобразными локомотивами развития новых отраслей науки и технологий, т.е. с мегаустановками напрямую связаны прорывные проекты. Мегаустановки в современном научном ландшафте — свидетельство научно-технологического потенциала, конкурентоспособности любой страны и элемент национальной безопасности. Но лишь немногие государства умеют их создавать. Россия всегда была и остается членом этого элитного «клуба». По понятным причинам в последние два десятка лет в этой сфере у нас тоже наблюдалась стагнация. Наш выход на международную арену в крупных мегапроектах был первым шагом по возвращению приоритетов в этой области, а следующим этапом должно стать развитие подобных мегаустановок внутри страны — от этого зависит будущее нашей науки. В Курчатовском институте уникальная комбинация мегаустановок мирового класса — источников синхротронного и нейтронного излучения, а с учетом наших установок термоядерного синтеза — токамаков, суперсовременной приборной базы,

аналоги этому комплексу сегодня трудно найти. Не случайно именно на базе Курчатовского института в апреле 2008 г. был образован первый в России национальный исследовательский центр. У нас разработана и утверждена общая научная программа институтов, входящих сегодня в НИЦ: Курчатовского института, Института физики высоких энергий (ИФВЭ), Института теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ), Петербургского института ядерной физики (ПИЯФ), в которой первое и главное — научные исследования на больших, уникальных мегаустановках как в России, так и за рубежом. Вторая задача — модернизация уже существующих в Российской Федерации мегаустановок и вывод из эксплуатации устаревших научных комплексов, чего раньше мы никогда не делали, в отличие от других стран. И то, о чем уже говорилось выше, — разработка и создание принципиально новых национальных мегаустановок мирового класса.

— О каких мегаустановках идет речь?

— Правительством были утверждены шесть приоритетных мегапроектов, отобранных в результате многоступенчатой экспертизы как имеющие высокую научную значимость и новизну. Из них наиболее проработаны высокопоточный пучковый исследовательский реактор ПИК (НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина), комплекс сверхпроводящих колец на встречных пучках тяжелых ионов NICA Объединенного института ядерной физики (ОИЯИ, Дубна) и проект новейшего термоядерного реактора IGNITOR («Росатом» — НИЦ «Курчатовский институт»). Во всех этих проектах есть договоренность с зарубежными партнерами об их участии в финансировании. По установке IGNITOR уже подписан межправительственный меморандум, согласно которому Италия строит IGNITOR и привозит его в Россию, где мы встраиваем его в готовую инфраструктуру в Троицке. Другой проект высокопоточного реактора нейтронов ПИК в Гатчине сейчас прошел физический пуск. Примерно два года потребуются для следующего этапа — энергетического пуска. В результате это будет самый современный исследовательский нейтронный реактор в мире. Проектом заинтересовалось германское правительство, уже идут поставки оборудования для станций.

Курчатовский институт будет также разрабатывать проект по созданию специализированного источника синхротронного излучения четвертого поколения, который позволит совершить колоссальный прорыв в биотехнологиях, нанотехнологиях, научном материаловедении. Идею проекта уже поддержали японские партнеры из синхротронного центра 8-SPRING, европейского синхротронного центра ESRF в Гренобле и германского синхротронного центра DESY в Гамбурге.

— Какие проекты Курчатовского института вы считаете самыми значимыми и масштабными за последние годы?

— Что касается развития ядерных технологий — безальтернативных на ближайшие десятилетия, оно идет по трем линиям: поддержка того, что находится в эксплуатации, улучшение параметров, продление сроков службы реакторов. Вторая линия — вывод из эксплуатации,



Исследовательский реактор ПИК

т.е. реабилитация загрязненных территорий и объектов, повышение радиационной безопасности. Последнее — это разработка новых радиационно устойчивых материалов, выработка изотопов, в том числе с использованием нанотехнологий, новая диагностика, разработка новых видов топлива.

Вторая область — управляемый термоядерный синтез и сопутствующие технологии, в частности плазменные. Участие в международных проектах ITER, IGNITOR. Исследования в фундаментальной физике — база всех без исключения направлений нашей деятельности. Здесь мы также выкладываем очень достойно, что подтверждено нашим участием в CERN, BOREXINO и других международных проектах.

Конвергенция НБИКС-технологий так же, как фундаментальные исследования, покрывает весь научный спектр Курчатовского института. Помимо уже перечисленных нано-, био-, инфо-, когно-, социогуманитарных направлений и лабораторий в НБИКС-центре сегодня активно развивается ядерная медицина, наработка изотопов, сверхпроводимость, микроскопия дает дополнительные возможности диагностики для многих направлений. Уникальность Курчатовского НБИКС-центра в его универсальности.

Мы — наследники великих людей и их великих научных свершений. Игорь Курчатов и его последователи создали атомную науку, промышленность страны — наше национальное достояние и залог безопасности. Трудно переоценить уникальность Курчатовского института — научного центра мирового масштаба. Организованный для решения проблемы создания советской атомной бомбы, Курчатовский институт стал родоначальником множества направлений практически по всему спектру современной науки. Не ошибается тот, кто ничего не делает. Тот, кто действительно хочет и может работать, приносить пользу науке, своей стране, имеет сегодня все возможности для реализации и успеха в стенах великого возрожденного Курчатовского института. ■

Беседовала Екатерина Яцишина

# От физики до лирики

*О практике реализации НБИКС-технологий в Курчатовском институте — заместители директора НИЦ «Курчатовский институт» доктор физико-математических наук, профессор Павел Кашкар и член-корреспондент РАН Олег Нарайкин*

— Случайно ли, что такая новая форма науки, как конвергенция НБИКС-наук и технологий, начала практически развиваться именно в Курчатовском институте?

**О.С. Нарайкин:** Курчатовский институт, как хорошо известно, был создан для решения монопроблемы по созданию атомного оружия, но с самого начала генерировал идеи, проводил исследования по широкому спектру областей науки. В дальнейшем развивались все новые научные направления, инженерные разработки, тематики, уже, казалось бы, совсем далекие от первоначальной задачи. Любой научный проект такого глобального характера всегда междисциплинарен по своей сути. В случае с НБИКС-центром и конвергенцией наук речь идет о формировании принципиально новой технологической культуры, нового технологического уклада цивилизации. С колоссальным опытом Курчатовского института в развитии атомного проекта, ядерной и термоядерной энергетики стало логичным и естественным перейти от решения междисциплинарных проблем к их новой наддисциплинарной стадии — конвергенции наук и технологий.

**П.К. Кашкар:** Успешными мегапроектами в XX в. были те, которые возглавляли междисциплинарно мыслящие, всесторонне образованные ученые. Таким междисциплинарным лидером, научным организатором, безусловно, был И.В. Курчатов. Он сумел интегрировать усилия физиков, химиков, геологов, инженеров, материаловедов, что привело к взрывному росту целого спектра отраслей науки. Курчатовскому институту, всей нашей науке очень повезло, что во главе атомного проекта стоял человек, готовый к такому междисциплинарному мышлению и осмыслению столь глобальных проблем, обладающий широчайшим интегральным подходом. Сегодня то, что произошло в Курчатовском институте за последние пять-семь лет, — зримая реализация идей теперь уже М.В. Ковальчука. Крайне важно, когда ученый может не только сформулировать идеологию научного развития, поставить конкретные цели, но и практически реализовать свои идеи. Особенно когда это касается столь крупных задач национального, глобального масштаба, как развитие Курчатовского синхротрона, запуск нанотехнологического проекта, создание Курчатовского НБИКС-центра.

В Курчатовском институте существуют глубинные традиции междисциплинарных исследований, вспомним хотя бы развитие биологических работ еще со времен атомного проекта, информационных технологий. Сегодня наука совершила диалектический виток, вышла на качественно новый уровень осмысления, развития новых конвергентных технологий.

— Итак, совпали глубинные традиции междисциплинарности, логика развития науки в целом и наличие идеолога и организатора нового научного проекта. А с чего начинался НБИКС-центр, что было его ядром?

**О.С. Нарайкин:** Все-таки первична идея, а потом материально-техническая база. Однако в НБИКС-центре ядром был Курчатовский специализированный источник синхротронного излучения — сам по себе междисциплинарный исследовательский комплекс. Была проведена его модернизация, значительно расширился спектр станций под разные задачи: материаловедения, диагностики, структуры белков, микроэлектроники, медицины и т.д. Помимо синхротрона у нас работают нейтронный источник ИР-8, суперкомпьютер, материаловедческий комплекс — такое сочетание под одной крышей мощных технологических установок, их комплементарное взаимодополнение встречается в считанных научных центрах мира. Плюс, как я уже говорил, четкое понимание целей и задач, значительные технологические заделы еще со времен атомного проекта, научные школы, кадры — все это позволило создать Курчатовский НБИКС-центр, по сути, за три года!

— По хронологии событий сначала развивались исследования в области нанотехнологий, потом к ним подсоединились биологические?

**О.С. Нарайкин:** Да, на первом этапе развивались нанотехнологии — принципиально новый инструмент воздействия на материалы на атомарном уровне, изменяющий их свойства. Главное отличие нанотехнологий — их наддисциплинарность, с философской точки зрения я бы сказал, что нанотехнологии объединяют все сущее на базе материального, атомно-молекулярного единства мира. Нанотехнологии — это и новая технология, и культура, которую человек обрел совсем недавно и которая позволяет ему непосредственно и направленно манипулировать первозданными элементами нашего материального мира. На следующем этапе стало ясно,

что при наличии таких технологий мы можем уже перейти от задачи изучения живой природы к воспроизведению каких-то ее элементов. По мере понимания этого стали ясны и дальнейшие шаги. Живые организмы в ходе эволюции, достигнув высших форм развития, стали существами, осознающими себя, окружающий мир и обладающими способностью познавательной деятельности, т.е. интеллектом. Чтобы воспроизвести какие-то из элементов этих сложнейших связей, нам надо, по сути, создать искусственный интеллект, и тут мы не можем обойтись без информационных технологий. Весь наш мир охвачен огромным количеством разнообразных информационных связей, непрерывно идут процессы трансформации и передачи не только энергии, но и информации.

Главная цель Курчатовского НБИКС-центра — на основе исследований в области конвергентных наук сформировать базу для технологического освоения их результатов и начать создавать конвергентные технологии, то есть природоподобные технологии и системы, с принципиально новыми свойствами, в т.ч. антропоморфные.

**— Как мы выяснили, хронологически первой появилась связь нано- и био-. Откуда же взялось био-, ведь биологическими исследованиями Курчатовский институт не занимался?**

**П.К. Кашкаров:** Это не так. Курчатовский институт еще со времен атомного проекта занимался исследованиями влияния разного рода излучений на живые объекты — радиобиологией, был основан даже институт молекулярной генетики. И сегодня влияние на живые организмы различных внешних воздействий, в первую очередь излучения, снова становится очень актуальным. Поэтому, я бы сказал, скорее естественно, что новая биология появилась именно здесь. Само развитие нанотехнологий подвело нас к осознанию необходимости быстрого развития биотехнологической инфраструктуры. Все мы, живые организмы — это белки, ДНК, т.е. биологические структурные элементы нанометрового диапазона. Поэтому естественным стало расширение неживого, твердотельного наномира на объекты живой природы.



В «чистой зоне» отдела прикладных нанотехнологий

**— Но развитие генетических исследований требует сложных расчетов большого объема?**

**О.С. Нарайкин:** На первых этапах формирования НБИКС-центра М.В. Ковальчуком была поставлена задача полномасштабной расшивки генома человека. С точки зрения расчетов это требует серьезных ресурсов, там очень сложные алгоритмы. И мы справились с этой задачей в кратчайшие сроки, т.к. в рамках НБИКС-центра помимо экспериментальных возможностей секвенирования мы располагали таким высокопроизводительным вычислительным ресурсом, как суперкомпьютер. Но дело не только в технологической базе, железе, так сказать. У нас была сильная школа, ведь мы традиционно делали для атомной отрасли алгоритмическое обеспечение, так называемые коды. Поэтому результаты, которые мы получали в ходе секвенирования генома человека, мы не везли куда-то на обработку, а сами их обрабатывали, на нашем суперкомпьютере и, собственно, программный продукт, который использовался, тоже был разработан в России.

**П.К. Кашкаров:** В НБИК-конвергенции информационные технологии важны не только для био-, но и для нано-. Ведь в наномире немного инструментов, с помощью которых мы реально можем видеть наночастицы. Это прежде всего электронная и зондовая микроскопия. Остальные методы видят наночастицы опосредованно, поэтому именно моделирование — один из важных методов диагностики, с помощью которых мы можем посчитать модельно и определить свойства наночастиц. Это задача многоуровневого моделирования, когда мы с помощью так называемых первых принципов, т.е. основных законов квантовой механики, определяем свойства наночастицы. Далее мы строим вещество, созданное из этих наночастиц, — некую наноконструкцию, и смотрим, какие макроскопические свойства имеет эта система из многих наночастиц — оптические, электрические. Благодаря решению этой задачи родились целые направления физики: нанопотоника, наноэлектроника и т.д. На завершающем этапе мы уже можем строить какой-то элемент, систему из этого материала, комбинируя с другими системами, моделировать его функциональные возможности.

**— Какова на сегодня структура НБИКС-центра, основные научные блоки?**

**О.С. Нарайкин:** Первый научный блок, ядро НБИКС-центра, мы уже упоминали — наш Центр синхротронно-нейтронных исследований. Такое сочетание стало базой и для междисциплинарных исследований на мегастанциях, и для разработок в области конвергентных наук и технологий. В нанотехнологиях изначально было не очень понятно, как измерять наночастицы, не было для этого устоявшейся шкалы, эталонов. Если для макрообъектов был эталон метра, или цезиевый эталон частоты, то метрологическим инструментом новой науки и технологий стали источники синхротронного излучения, нейтронов. Таким образом, это инструмент и исследовательский, и метрологический, а в этом качестве он становится и технологическим. Но синхротрон как

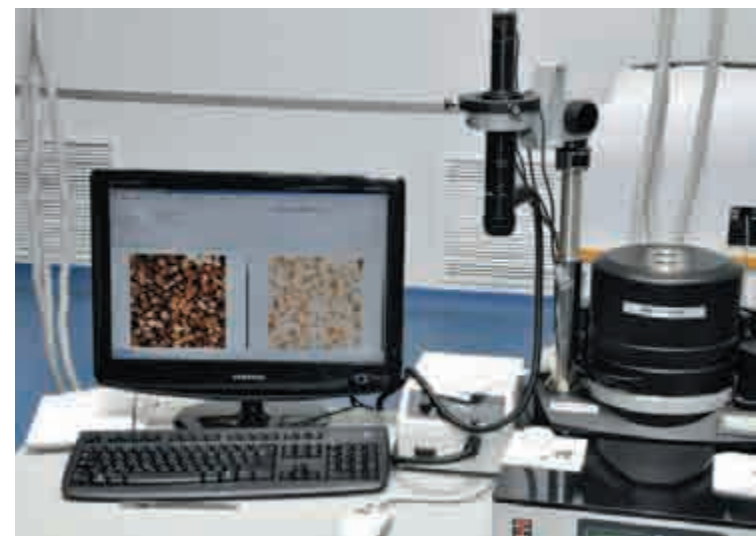
машина сам по себе без экспериментального оборудования, станций, которые позволяют использовать рентгеновское излучение в исследовательских и технологических целях, не востребован. Поэтому за последние годы проведена большая работа по расширению экспериментальных возможностей нашего синхротронного источника. Построены новые станции очень высокого класса, три из них введены в строй в самое последнее время.

**П.К. Кашкаров:** Длина волны рентгеновского излучения, так же как тепловых нейтронов, лежит в наномасштабе. Это идеальный инструмент для исследований, поэтому многие центры нанотехнологий во всем мире развиваются именно на базе синхротронных источников.

В основном европейские синхротронные центры работают за счет и для привлечения пользователей. Между ними есть определенная конкуренция, например в яркости пучка, каких-то предельных параметрах. Но, по словам самих пользователей, особенно биологов, это далеко не всегда нужно, потому что при высокой яркости образец может просто сгореть под пучком, поскольку организм не выдерживает такой интенсивности. Наш синхротрон подходит для широкого набора экспериментов запланированных станций он будет особенно востребован для работы с биологическими объектами.

**О.С. Нарайкин:** Если вернуться к структуре НБИКС-центра, вторая его составляющая — это собственно институт конвергентных наук и технологий, который включает целый ряд научных отделений. Это отделения молекулярной биологии, белковой кристаллографии, физико-химических технологий, робототехнических и микро- и наноэлектромеханических систем (МЭМС и НЭМС), прикладное отделение, белковая фабрика. В биологическом комплексе мы можем сейчас проводить весь спектр работ: от создания белковых субстанций, причем в достаточно больших количествах, до геномных исследований и, по сути, формирования искусственных биоподобных или биологических объектов, искусственной клетки. Для этого нужны белковая субстанция и геномика, потому что именно геном делает субстанцию живой и обладающей теми или иными свойствами.

**П.К. Кашкаров:** Благодаря современному оборудованию, мы можем решать такую социально важную задачу, как ускоренный дизайн лекарств. Основой для лекарств выступают, как правило, биологические объекты типа белков, которые имеют некие рецепторные лиганды, регулирующие определенные функции в организме человека, усиливающие или подавляющие их, т.е. выполняют лекарственную функцию. К белку поочередно биохимическими методами цепляются разные лиганды, эффективность лекарств проверяется методом перебора. На синхротроне мы расшифровываем, как устроен этот белок, далее методами очень сложного биологического моделирования можем прикреплять какие-то лиганды и смотреть, какие функциональные особенности проявляются у этого лекарства, — т.е. «на листе бумаги» формировать новое лекарственное средство. Конечно,



В «чистой зоне» отдела прикладных нанотехнологий

после этого до начала производства лекарства предстоит длинный путь клинических испытаний. Наша база, набор междисциплинарных инструментов позволяет осуществлять весь цикл — от идеи до выхода на производство. Крайне важно, что благодаря нашей инфраструктуре мы можем учитывать генетические особенности пациента, т.е. составлять для него лекарство с оптимальным эффектом. У нас есть и хорошие наработки по адресной доставке этого лекарства, когда оно воздействует непосредственно на больную орган, активируется там, не влияя на здоровую часть организма. Это уже зримые перспективы медицины будущего.

**О.С. Нарайкин:** Кстати, о преемственности. Еще один из важных блоков НБИКС-центра — отделение ядерной медицины. Это самые современные методы лечения и диагностики, основанные на молекулярной визуализации, а также создание лекарственных препаратов на основе изотопов, в первую очередь для лечения онкологических заболеваний. И это направление — прямое детище атомного проекта.

**П.К. Кашкаров:** Крайне важно иметь такое производство именно здесь, в ядерном институте, где есть культура обращения с этими веществами, необходимые технические условия (в том числе для утилизации) и квалифицированный персонал. Поэтому Курчатовский институт вполне может стать разработчиком и производителем таких радиофармпрепаратов, в первую очередь для диагностики.

**О.С. Нарайкин:** Одно из ключевых подразделений НБИКС-центра — отделение робототехники и микро- и наноэлектромеханических систем. Непосредственная задача этого подразделения — создание все более совершенных и в конечном итоге антропоморфных систем робототехнического класса. Допустим, нужно разработать систему осязания для некоего робототехнического устройства — систему зрения в условиях минимальной освещенности. Это возможно сейчас с помощью инфракрасного приемника из неорганических материалов.

Но, например, зрение змеи тоже инфракрасное, причем очень тонкое и избирательное, обладающее множеством преимуществ. Значит, нужно взять детектор, т.е. воспринимающее устройство, чувствительный элемент, из живой природы. Но для того чтобы это стало технической системой, действующим прибором, нужно, чтобы сигнал от этого детектора можно было воспринять, обработать, очистить от помех, усилить и т.д. Эти функции должна выполнять электронная схема. Возникает проблема соединения естественного природного детектора, или же биоподобного, с электронной схемой — в этом важнейшая задача с точки зрения воспроизведения элементов живых систем и создания природоподобной техники. Именно для этого нам необходимы гибридные устройства.

У нас создана развитая инфраструктура в области микроэлектроники, но это составляющая для тех самых гибридных систем, а не микроэлектронное производство — это не наша функция, а индустрии. Это микроэлектронная часть тех гибридных устройств, о которых я говорил. Еще одна неотъемлемая часть этого комплекса — белковая фабрика, и нам предстоит еще создать «биологическое плечо» биоэлектронного комплекса.

Крайне важна и интересна работа нашего когнитивного отделения, потому что без как минимум элементов искусственного интеллекта антропоморфные системы не могут функционировать. В когнитивном отделении выстроена технологическая цепочка от исследований нейрофизиологических основ когнитивной деятельности до создания искусственных устройств, которые в той или иной мере выполняют функции нейрокогнитивной сферы человека. В частности, это создание мозго-машинных и в перспективе даже мозго-мозговых интерфейсов, что позволит общаться без вербальных инструментов, без визуализации, т.е. непосредственно с выходом в мозг. Хотя, конечно, это двойные технологии, с ними надо обращаться крайне осторожно.

**П.К. Кашкаров:** Именно в когнитивных науках четко прослеживается нано-, био- и информационная конвергенция. Для исследования функций мозга используются так называемые генмодифицированные белки, которые дают нам нейроны, светящиеся при возбуждении. Это уже очень тонкая биотехнология, позволяющая проследить почти движение мысли на открытом живом мозге подопытного животного; для снятия такой информации используются оптические нановолокна. Отслеживая вспышки, происходящие в этих нейронах, можно видеть, какие части мозга возбуждаются при той или иной деятельности. Это так называемый проект «прозрачный мозг», по-английски *blue brain*. Здесь задействовано и био-, потому что эти нейроны надо модифицировать определенным образом. Этим занимается генотоника, где используют элементы нанотоники, т.е. оптические волокна и соответствующий сбор информации. И, конечно, не обойтись без информационных систем, потому что все эти сложнейшие процессы компьютеризированы, идут по определенным программам.

Даже отвлекаясь от конечной цели создания антропоморфных систем, мы все глубже изучаем, как

происходит обработка информации в мозге — ее накопление, какие элементы ее накапливают, какие обрабатывают. Выясняется, что это одни и те же элементы, в этом принципиальное отличие от неймановской информатики, численной двоичной системы. Ведь компьютер нельзя обучить, а даже один нейрон способен к обучению, и когда мы до конца поймем, как это происходит у нас в мозге, это будет выход на новую информатику. Мы будем строить компьютер на новой платформе.

**О.С. Нарайкин:** Уже существует целая область, так называемые нейронные алгоритмы, базирующаяся на принципах нейросети человека. Все последние десятилетия компьютерные технологии развивались по пути повышения степени интеграции элементной базы, элементы становились все мельче, мы уже почти подошли к квантовому пределу. Но от возможностей мозга еще бесконечно далеки. Элементная база мозга совсем другая — топологические нормы там составляют десятки микрон. Эффективность мозга связана не с быстротой, не с высокой степенью интеграции и малыми топологическими нормами, а с невероятно сложными связями, причем реструктурируемыми в зависимости от задач. В нашем мозге постоянно идет перестроение, адаптация системы к решению конкретных задач. При этом нейрон нельзя рассматривать как аналог транзистора в чипе: он настолько многофункционален, что сам, по сути, как этот чип.

— Не так давно к аббревиатуре НБИК была добавлена буква «С». С чем это связано, для чего она нужна?

**О.С. Нарайкин:** Это связано с логикой развития конвергентных наук и технологий. Мы упоминали уже, что материя на ее высших уровнях организации социализуется. Устоявшееся определение живого — «способное к самовоспроизведению и обладающее генетической памятью». Но и животные, и прежде всего человек живут в обществе себе подобных, общаются с ними, т.е. социализуются, и тогда появляется еще один вид памяти. История — тоже память, только социальная. Поэтому очевидно, что надо исследовать еще и социальную функцию, каким-то образом ее регулировать. Конвергенция наук и технологий безусловно открывает перед людьми совершенно фантастические перспективы выживания, сохранения цивилизации, ее развития. Но без революции человека, изменения его сознания, подходов к цивилизации и к самому себе эти перспективы могут остаться ничем. Сегодня социальные науки превращаются в технологии.

**П.К. Кашкаров:** Хотел бы добавить, что наиболее ярко конвергенция естественных дисциплин с гуманитарными проявляется в когнитивных науках. Мы рассказывали о нейронах, об устройстве мозга — это биология, нейрофизиология. Но неотъемлемая сторона работы человеческого мозга — поведенческие функции человека, его реакции. Психология всегда изучала эти когнитивные функции гуманитарными методами, что сегодня реализуется уже и в технологиях. Когнитивные технологии — один из разделов психологии. Например, я в своей педагогической практике всегда был против удаленного

доступа к лекциям, потому что отсутствует живой контакт, а когда непосредственно общаешься, возникает совершенно другой уровень восприятия. В педагогике непосредственный контакт «учитель — ученики» никогда не будет полноценно замещен компьютером, книгой. Как говорят нам когнитивные технологии, уровень понимания и контакта напрямую зависит от того, смотрим ли мы друг другу в глаза.

— Кто же будет заниматься в России НБИКС-технологиями? Где кадры берет?

**П.К. Кашкаров:** Таких специальных учебных образовательных учреждений не было до недавнего времени ни у нас в стране, ни в мире. Мы не предполагаем дать студенту знания, скажем, в биологии, как на биологическом факультете, где он шесть лет изучает ее углубленно, а обучим его основным понятиям, глоссарию, и когда он придет работать в междисциплинарный коллектив, то легко углубит в случае необходимости свои базовые знания. Мы начали такую систему междисциплинарного образования на физическом факультете МГУ, где в 2005 г. была создана кафедра физики наносистем под руководством М.В. Ковальчука. С 2006 г. у Курчатковского института существовал базовый факультет информатики и нанотехнологий в Московском физико-техническом институте (МФТИ). Развивая нашу концепцию, мы переформатировали идеологию этого факультета, сделали ее, действительно, глубоко междисциплинарной. Факультет получил название факультета нано-, био-, информационных и когнитивных технологий (НБИК), и могу ответственно сказать, что это единственный в мире факультет подобного рода. Наш ежегодный набор — 40–50 человек. Первый набор по новой программе был в 2009 г., а тех, кто поступил ранее, мы доучивали по новой программе, и у нас уже было несколько выпусков магистров. С набором 2009 г. была сформирована абсолютно новая программа. Обучаясь в сильном физико-техническом институте, наши студенты получают хорошие знания физики и математики, но они слушают также курсы химии, общей биологии, биохимии, биофизики, молекулярной биологии, генетики и даже гуманитарных дисциплин. Крайне важно, что НБИК-факультет расположен в кампусе Курчатковского института, уже с первого курса студенты регулярно ходят сюда на практические занятия.

И результаты уже видны. Было несколько выпусков по нашей междисциплинарной программе, значительная часть идет в аспирантуру и на работу в Курчатковский НБИК-центр. Мне как декану НБИК-факультета приятно слышать отзывы маститых биологов о том, что наши студенты зачастую разбираются в биологии лучше, чем выпускники биологических факультетов. У нас есть целый ряд программ поддержки студентов, платим отличникам именные стипендии имени А.П. Александрова. Все студенты зачислены в Курчатковский институт, т.е. они могут пользоваться всей инфраструктурой: библиотекой, поликлиникой и т.д. Особо поддерживаем аспирантов, каждый из них получает специальные дополнительные стипендии, что позволяет им иметь



В «чистой зоне» отдела прикладных нанотехнологий

вполне достойный уровень зарплаты. По системе постдока после защиты диссертации можно получить место в нашем общежитии и неплохую зарплату. У нас множество базовых кафедр в МГУ, МИФИ, где созданы даже три новых кафедры целиком под потребности Курчатковского института. Это кафедра прикладной сверхпроводимости, элементарных частиц, ядерной медицины — все эти кафедры возглавляют наши сотрудники, читают там курсы лекций. Мы разворачиваем совместные образовательные программы и в Санкт-Петербургском регионе, ведь в Гатчине находится один из институтов НИЦ — Петербургский институт ядерной физики. Год назад мы создали кафедру синхротронно-нейтронных исследований на физическом факультете Санкт-Петербургского университета, и она уже очень активно работает. Студенты три дня (это пока на уровне магистратуры) проводят практические занятия на уникальной технологической базе ПИЯФ. Физический факультет СПбГУ в целом тоже стал нашей учебной базой после того, как в декабре 2012 г. его возглавил М.В. Ковальчук. Сегодня, соединяя исследовательские возможности гатчинского института с образовательным потенциалом СПбГУ, мы создаем хорошие перспективы для молодых людей в Северо-Западном регионе.

Таким образом, мы организуем полную цепочку по подготовке и закреплению кадров, и дело обстоит очень неплохо. Не будет преувеличением сказать, что тем самым мы выстраиваем наше будущее — и Курчатковского института, и всей российской науки. ■

Беседовала Екатерина Яцишина

# Никакой мистики, только наука

*Максим Занавескин, начальник отдела прикладных нанотехнологий Курчатовского НБИКС-центра, кандидат физико-математических наук — молодой, открытый человек. По собственному признанию, он самый старший в его отделе, где средний возраст — 25 лет*

В самом подразделении, несмотря на молодость, решаются сложнейшие практические задачи, даже их перечисление звучит впечатляюще: создание нитридных гетероструктур, сверхпроводящих проводников второго поколения, получение нового поколения сенсоров для биомедицинских нужд, нейроинтерфейсов, с помощью которых можно общаться почти телепатически, нейрокомпьютеров, работающих подобно человеческому мозгу. Всего несколько лет назад залов, напоминающих декорацию к фильму о гипертехнологичном будущем, не было даже в проекте. Сейчас кругом — сложнейшее электронное оборудование, сверхвысоковакуумная аппаратура. Это помещение называется чистой комнатой — здесь работает сложная система фильтров, обеспечивающих особую степень очистки помещения от пыли.

— Мы начали свою историю в рамках Курчатовского центра синхротронного излучения около четырех лет назад, — рассказывает Максим, — а потом М.В. Ковальчук, создавая Курчатовский НБИКС-центр, включил отдел в структуру центра. Он сформулировал нашу основную задачу — создание разнообразных интерфейсов между живыми системами и твердотельными электронными

устройствами, такими как компьютер, сотовый телефон и т.д. Сегодня мы занимаемся и чисто академическими исследованиями, и прикладными. Например, одна из актуальнейших задач — создание высокотемпературных сверхпроводящих проводников нового поколения, крайне необходимых для энергетики. Наша лаборатория занимается созданием прототипов сверхпроводящих лент второго поколения. В этом году у нас появились установки, которые позволят создавать такую ленту длиной до 200 м.

Основной способ исследований твердотельной структуры — рентгеновское излучение. Соседство с синхротроном здесь совершенно не случайно, потому что объекты, получаемые здесь, регулярно исследуются с использованием синхротронного рентгеновского излучения, в частности, две экспериментальные станции размещены непосредственно в чистой комнате. Одна соединена с установкой молекулярно-лучевой эпитаксии, и выращенные гетероструктуры мы можем исследовать с помощью синхротронного излучения, не извлекая из установки, прямо в вакууме.

Одна из перспективных твердотельных тем, которыми мы занимаемся, — рост нитридных гетероструктур. Это

следующий шаг после кремниевой электроники, в которой одному материалу, созданному самой природой, кремнию, за счет внесения различных примесей придают различные электрофизические свойства. Гетероструктуры — продукт направленного роста кристалла на кристалле, где можно сочетать слои различного состава, конструируя искусственный кристалл. Мы сейчас работаем с несколькими предприятиями в Москве, которые на основе наших гетероструктур создают законченные СВЧ-транзисторы. В этом отношении в Курчатовском НБИКС-центре созданы уникальные условия. У нас есть установки и для молекулярно-лучевой эпитаксии, и для химического осаждения из паровой фазы. Таких мест в стране практически нет, потому что обычно исследователи занимаются либо одним методом, либо другим. Но в комбинации этих методик кроется огромный потенциал по причине разности их сущностей и, соответственно, возможностей и особенностей. У нас сейчас достраивается и вводится в эксплуатацию комплекс, который позволит проводить постростовые процессы. Теперь мы сможем под одной крышей как получать сами гетероструктуры, так и создавать законченные устройства. То, что у нас же одни и те же люди занимаются сквозным проектом, очень эффективно, и это наша идеология.

В первую очередь речь сегодня идет о сенсорах. Мы сейчас разрабатываем систему типа «лаборатория на чипе» — достаточно компактные лабораторные системы. Это, по сути, новый тип современной биохимической лаборатории, где требуется минимальное количество исследуемого материала, не нужны лаборанты, массивное и дорогостоящее оборудование, сложные манипуляции. При этом точность результата значительно выше, а время ожидания не превысит нескольких секунд.

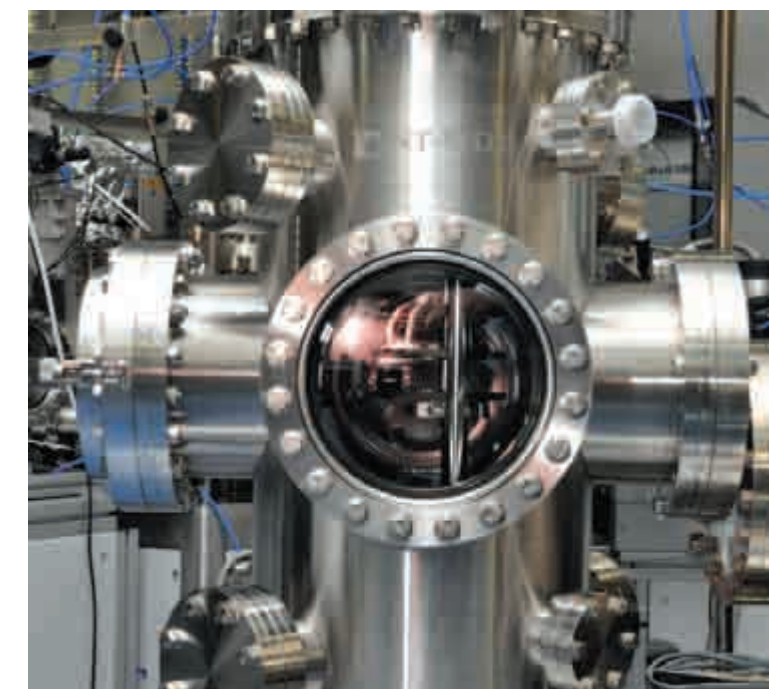
Еще одна не менее интересная тема — микрофлюидика. Одно из применений — микрофлюидное кристаллизационное устройство для кристаллизации белковых молекул для нужд современной медицины. Чтобы создавать современные лекарства, нужно знать структуру белков, понимать, как устроены белки в различных конформациях, как они взаимодействуют внутри организма с клетками, как они проникают через мембрану, в каких условиях взаимодействуют при тех или иных заболеваниях.

Технологии почти дошли до предела пространственного разрешения. Сейчас это 32 нм, а скоро мы упрямся в размер, сопоставимый с десятками атомов, и тут подстерегает много проблем: теплосъем, утечки, квантовые эффекты. Да и внесение примесей при десятинанометровой топологической норме должно контролироваться вплоть до отдельных атомов! Вопрос — куда двигаться дальше? Есть интересные пути: квантовые компьютеры, спинтроника, одноэлектроника и т.д. Одно из направлений, в которое мы хотим углубиться, — нейроморфные чипы, т.е. чипы, использующие примерно такой же принцип действия, что и наш мозг. Назовем это биокомпьютером, хотя понимать под этим можно что угодно. Человек, по сути, тоже биокомпьютер, только очень

совершенный. И не только человек. Почти любое животное решает одновременно огромное количество задач, недоступных самым современным роботам. Как взаимодействуют отдельные нейроны и как работают нейронные сети? Должны быть некие датчики, которые вживляются в организм, причем речь идет о пространственном разрешении порядка отдельного нейрона. Мы можем внедрять такой чип в мозг, следить за поведением нейронов, пока животное пытается решать какие-то проблемы. А можно, наоборот, взять подобный чип, в биосовместимых условиях высадить на нем нейрональную культуру, следить за ее развитием, поведением и попытаться заставить решать какие-то задачи. Следующий этап — моделирование, создание адекватных моделей, описывающих все ключевые процессы, которые происходят в живых нейрокультурах. Как природный принцип существования нейрональной сети перенести в «полупроводниковый мозг»? Такой элемент, обеспечивающий синаптическую пластичность, — мемристор, элемент с памятью. Они относительно недавно возникли «в железе», и сейчас на их основе уже разрабатываются различные конструкции. Это проводник, сопротивление которого изменяется в зависимости от того, как через него прошел ток. Сейчас мы занимаемся разработкой мемристорных элементов, которые станут первым этапом в процессе создания нейроподобных чипов — компьютеров, устроенных подобно нашему мозгу.

Задача, за которую мы взялись, — это попытка понять, что такое жизнь, где и на каком моменте возникает сознание. До решения этих вопросов пока далеко, но интересно ставить большие цели!

*Беседовала Наталья Лескова*

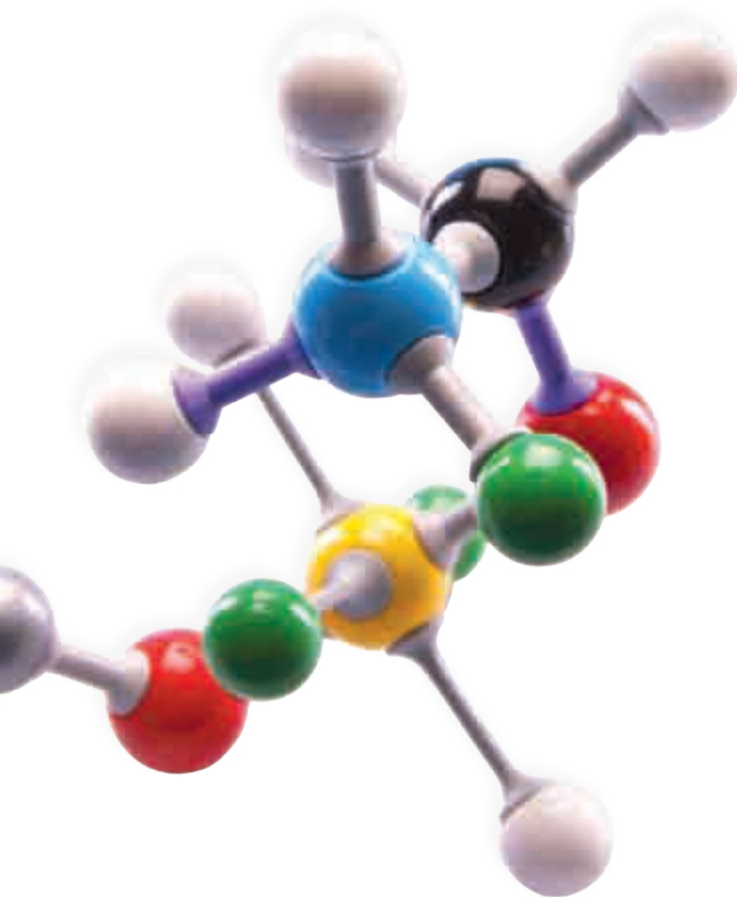


Вакуумная камера



# Мы не волшебники, мы только учимся!

*Передо мной лежит аккуратная белая трубочка причудливой формы. «На что похоже? Угадайте!» — спрашивает доктор химических наук, руководитель отделения кристаллографии и материаловедения Курчатовского НБИКС-центра Сергей Чвалун. Оказывается, это синтетический сосуд, выполненный из искусственного нетканого материала, чудо современной биотехнологии — так называемый матрикс, о каких еще 10–15 лет назад мечтали фантасты. А проща говоря, это искусственная трахея: сосуд может успешно заменить этот жизненно важный орган*



## Конструкторы

Профессор демонстрирует хитрый способ, которым она производится. В лаборатории полимерных материалов царит таинственный полумрак, из которого проступает светящийся прозрачный куб. Внутри — вращающаяся конструкция, отдаленно напоминающая веретено. Это не случайно: здесь прядут тончайшее нетканое волокно, которое нанизывается почти невидимыми нитями на металлический каркас. Такой способ получения полимера называется электроформованием, когда за счет приложенного высокого напряжения из растворов вытягиваются тончайшие нановолокна, покрывающие исходную заготовку. «Мы научились делать матрикс для синтетических органов, — поясняет Сергей Чвалун. — Пока это органы не очень сложные — не сердце, не мозг, хотя некоторые его участки лабораторно выращиваются, а «отремонтировать» печень вполне возможно». По словам ученого, после операции по резекции печени, если накрыть усеченный орган такой пленкой-матриком, он за короткий период времени полностью восстановится. Можно создавать супергидрофильные гемостатические материалы, которые забирают лишнюю кровь, и она практически моментально коагулирует. Но главное медицинское достижение НБИКС-центра сегодня — прототип искусственной трахеи, сделанной на основе таких полимеров.

Раньше подобные операции пытались делать с помощью донорской трахеи, но здесь возникали сложности и с размером, и с приживаемостью. Что же касается искусственно выращенного органа, то здесь подобных проблем нет. С помощью компьютерного 3D-моделирования

создается модель трахеи нужного размера, затем она ткется методом электроформования, в готовую ткань добавляются факторы роста, лекарственные вещества — и продукт практически готов. Это наглядный пример конвергенции нано-, био- и инфо-: создается «под заказ» новый гибридный материал, состоящий из органической и неорганической субстанций.

По части производства матриксов, по словам С.Н. Чвалуна, мы сейчас находимся в числе мировых лидеров. В лаборатории НБИКС-центра с помощью специальной установки испытывается механическое поведение искусственной трахеи, например ее усталостные характеристики, которые определяются циклическими деформациями. Проводится сравнение свойств натурального и искусственного хрящей. У искусственного свойства пока хуже. У натурального в момент нагрузки и разгрузки свойства практически не меняются, никаких механических потерь нет, а с искусственным добиться такого эффекта пока не получается. Однако перед исследователями стоит задача сделать этот гистерезис как можно ниже. Есть и заметные плюсы: синтетический хрящ можно хранить бесконечно долго, в то время как настоящий изнашивается, сохнет. Обычный хрящ растет 30 лет, а искусственный можно сформировать за пять минут — нужно лишь задать форму и размер.

Сейчас в Минпроме лежит проект по желчным протокам — это маленькие трубочки, которые часто страдают, например, при резекции желчного пузыря. Если их не восстановить, человек болеет тяжелыми хроническими недугами. Заменить их совсем не сложно. На очереди — различные сосуды. По словам С.Н. Чвалуна, таким способом можно будет вырастить множество запчастей для человека. И ученые-разработчики, и российские хирурги уже сегодня готовы начать такие операции.

## Губка из кальмара

Матрикс — далеко не единственная биомедицинская задача специалистов Курчатовского НБИКС-центра. Здесь производятся хирургические нити с иной пластикой, которые не режут кожу, губки на основе природных полимеров — например, хитозана с коллагеном. Подобная наногубка хороша как ранозаживляющее средство при ожогах, обморожениях, трофических язвах. Ее не нужно снимать — подобно искусственной коже, она впитывается в кожный покров, заодно наполняя большое место различными лекарственными и обезболивающими веществами. Такие «лечебные салфетки» прошли испытания в ожоговом центре Института им. Вишневского, осталось лишь внедрить их в клиническую практику.

Т.Е. Григорьев, заместитель С.Н. Чвалуна, занимается изучением биосовместимых материалов на основе природных полимеров, таких как целлюлоза, коллаген, хитин, хитозан, которые, например, могут выделяться из панцирей крабов, грибов и тараканов. Частично эти вещества в лаборатории выделяют сами — для этого используют кальмаров. «Это возобновляемый ресурс, поэтому его хочется использовать, и это очень перспективное направление для раневых покрытий,

гемостатических, болеутоляющих ранозаживляющих средств», — поясняет Т.Е. Григорьев. Он показывает образцы — пористые материалы, полученные из биополимеров. На ощупь они напоминают мягкий пенопласт, но, в отличие от него, состоят не из множества маленьких шариков, а из микропор размером от 10 до 50 микрон, которые интеркалированы — соединены между собой. Этот материал отлично сорбирует различные лекарственные соединения, к нему моментально прилипает раневое отделяемое. Если добавлять различные факторы роста, то белок повышает свою термическую стабильность. «Вот это хитозановая губка с фактором роста костей. — Т.Е. Григорьев демонстрирует небольшую губку, внешне напоминающую пластырь. — Из нее можно вырастить, например, новую челюсть — и об искусственных имплантах, а тем более съёмных протезах, которые на ночь кладут в стакан, можно будет забыть как о страшном сне».

## Нанопластики лечат мозг

В лаборатории широко используются многолетние разработки Института кристаллографии РАН в области нанокapsулирования и адресной доставки препаратов. Уже научились получать как нановолокна, так и наночастицы и нанокapsулы биоразлагаемых полимеров, с помощью которых осуществляется транспорт лекарственных средств. Методами химического процессинга ученые сначала изготавливают эмульсию полимера-растворителя, а затем получают микро- и наносферы из различных полимеров. Затем в раствор помещается лекарственное вещество, и путем обычной инъекции в мышцу или вену осуществляется доставка нужных веществ в тот или иной орган.

В случае внутримышечной инъекции лекарство, сделанное из микронных частиц, будет иметь пролонгированное действие — от нескольких месяцев до года. Более мелкие наночастицы способны проникать через клеточную мембрану прямо в клетку и врачевать пораженный орган. Если клетка больна, например, раком, то проходимость через мембрану очень высокая, и 80–100-нанометровая частица, наполненная лекарством, преодолевает ее достаточно легко. Сегодня в лаборатории проводится большая экспериментальная работа по направленной активной доставке таких частиц.

Создание новых материалов для нано-, био-, информационных и когнитивных технологий — это та самая конвергенция, о которой сейчас так много говорят. Подобных лабораторий полимерных материалов по набору суперсовременного оборудования в мире очень мало, а близость к источнику синхротронного излучения — важнейшего инструмента для исследования структуры материалов — делает ее по-настоящему уникальной. Самое удивительное, что еще два года назад даже корпуса, где находится лаборатория, еще не было. Сегодня перед лабораторией ставятся очень интересные и перспективные задачи, не случайно здесь трудится большой коллектив энергичных, талантливых и довольно молодых людей. ■

Беседовала Наталья Лескова

# Симфония жизни из четырех нот

Лаборатория геномики Курчатовского НБИКС-центра — единственная научная организация в России, где отсеквенировано уже более 20 геномов

## Музыка генома

— Именно на этих секвенаторах мы расшифровали геном русского человека, — говорит Наталия Груздева, заместитель начальника лаборатории геномики, показывая устройство и приборную базу лаборатории.

Для простого человека секвенатор — малопонятный прибор, отдаленно напоминающий офисный принтер, а для специалиста это почти музыкальный инструмент. Мелодия, которую в этой лаборатории умеют из него извлекать, записывается всего четырьмя «нотами» нуклеотидов, составляющих ДНК: аденином, гуанином, цитозином и тиминном. Но в целом композиции из этих четырех нот сливаются в невероятную симфонию жизни.

Лаборатория геномики — сердце биологического подразделения Курчатовского НБИКС-центра. В штате лаборатории геномики пять человек. Все они пришли сюда молекулярными биологами — «капельщиками», как они сами про себя говорят, и здесь получили возможность как применить имеющиеся знания, так и приобрести новые умения и навыки: конвергенция нано-, био-, инфо- и когнотехнологий позволяет сегодня исследователям заглянуть и в соседние области знаний — протеомику, биоинформатику, биомедицину, популяционную генетику, структурную биологию.

— Исследования, проводимые в области геномики, могут активно стимулировать другие области знаний, — рассказывает Наталия Груздева. — В науке есть огромное количество областей, где можно использовать генетическую информацию: геновая терапия, лечение онкозаболеваний, точечная доставка лекарств, генетическая генеалогия, «приручение» микроорганизмов и даже этнография.

## Сколько в нас сибирской крови?

Для этнографов НБИКС-технологии открывают очень интересные перспективы. Именно конвергенция генетических и этнографических исследований несколько лет назад сделала ученых этой лаборатории настоящими звездами в СМИ. Речь идет об их работах по полной расшифровке генома русского человека и по созданию этногенетической карты РФ.

— Нашей задачей было узнать нечто большее, чем то, что мы просто «европейцы», — объясняет Наталия. — В большинстве из нас намешано очень много различных «слоев»: гены сибиряков и народов Кавказа, славян и народностей Азии. На основе этнических исследований можно условно выделить шесть основных групп. В этнографических экспедициях в далеких селах отбирались «линии с эффектом основателя» с целью сбора материала по каждому этносу. На основе этого материала был проведен генетический анализ более 36 различных этносов и составлена генетическая карта РФ, т.е. были определены генетические характеристики, отличающие эти этносы друг от друга.

В результате сравнения геномов различных этнических групп и мест их проживания была составлена этногенетическая карта, на которой этносы, обладающие большей степенью родства, оказываются ближе друг к другу, чем дальнородственные. При этом разброс внутри этноса оказывается существенно меньше межэтнического.

Без использования всей мощи НБИКС-технологий, например курчатовского суперкомпьютера, анализ подобного объема информации был бы просто невозможен. В результате на примере нашей карты видно, как генетика стала «мостиком», связывающим гуманитарный и естественнонаучный блоки. Сегодня, имея эту информацию, этнограф может мыслить исторически: отслеживать переселения народов, анализировать распространение языков, традиций, культурных ценностей.

## Лекарства для якутов

Еще одна задача, в решении которой поможет генетическая карта России, — дать каждой этнической группе индивидуальные, наиболее эффективные для нее медицинские препараты.

— Есть группы, подверженные этноспецифическим наследственным заболеваниям. Значит, должно быть и индивидуальное лечение таких заболеваний, — говорит Наталия Груздева. — Мы стремимся изучать полиморфизмы, которые у разных групп отвечают за эти заболевания, ищем те, которые влияют на устойчивость к лекарствам.

Любого человека сегодня можно «разложить» на определенные нами генетические характеристики и узнать, сколько среди его предков было людей из Сибири, а сколько — из Рязани. И назначить ему индивидуальное лечение, основанное на его генетических особенностях.

Такое лечение будет давать максимальный результат при минимальных побочных эффектах. В будущем задача персональной медицины — предупредить болезнь задолго до ее появления, в том числе при планировании семьи. Некоторые генетические комбинации, не беспокоя каждого из родителей в отдельности, могут давать весьма опасные для будущего потомства варианты.

— Хотелось бы, чтобы все генетические исследования биомедицинского профиля смогли найти свое применение в клинической практике, — подытоживает Наталия. — В настоящий момент ученые уже сделали очередной шаг, открыв дверь в мир ДНК. Теперь дело за тем, чтобы достижения науки стали в нужный момент доступны любому человеку.

## Будущее на пороге

Главное, чего все так ждут от массовой геномики, — это, безусловно, персональная медицина. Если государство сможет оснастить секвенаторами даже небольшие лечебные учреждения, а сама процедура станет чем-то вроде флюорографии, то выиграют все. Со временем наши знания о том, какой ген отвечает за ту или иную болезнь, будут накапливаться. В результате мы сможем подходить к лечению на самом тонком, индивидуальном уровне. Вполне возможно, что к тому времени у большинства людей будет собственный генетический паспорт.

— Генетика как раздел биологии смыкается сегодня не только с математикой и информатикой, но и с этикой. Как быть с полученной о человеке генетической информацией? Анализ крови тоже когда-то вызывал примерно такие же вопросы, а сегодня стал нормой, не правда ли? Та же судьба ждет и генетическую информацию, — уверена Наталия Груздева. ■

Беседовал Дмитрий Назаров



# ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА

*Последние годы отмечены ренессансом ядерной медицины и лучевой терапии в России. Это связано прежде всего с тем, считает заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт» доктор химических наук Борис Чайванов, что ядерная медицина — одна из высокотехнологичных и эффективных отраслей диагностики и лечения*

Э то не ноу-хау последних лет, как представляют многие, а одно из важнейших направлений, порожденных развитием атомной отрасли в нашей стране.

Основные методы ядерной медицины стартовали в физических лабораториях или с их непосредственным участием. В ходе реализации атомного проекта в нашей стране была создана целая сеть ядерно-физических центров, специальных медицинских учреждений, высших учебных заведений, вычислительных центров.

В последние десятилетия наука в нашей стране переживала сложный период, что, конечно, коснулось и ядерной медицины. В 2008 г. инициативная группа Курчатовского института обосновала перед руководством страны необходимость экстренного возрождения ядерной медицины в России. Тема получила широкий общественный резонанс, в том числе на площадке Общественной палаты РФ. Сегодня уже можно сказать, что сделано немало. В рамках институтов, входящих в НИЦ «Курчатовский институт», сформирована уникальная инфраструктура, охватывающая практически все

направления ядерной медицины, производство радиоизотопов и радиофармпрепаратов, диагностику и лучевую терапию.

Кстати, первые исследования воздействия ионизирующего излучения на живые организмы были проведены еще в 1950-х гг. по инициативе И.В. Курчатова в специально созданном для этого радиобиологическом отделе. Сегодня в НИЦ «Курчатовский институт» продолжает развиваться широкий спектр направлений в области ядерной медицины. Помимо производства стабильных изотопов ведется наработка радионуклидов медицинского назначения с помощью реакторных технологий, базовые установки которых — исследовательский экспериментальный реактор ИР-8, растворный реактор АРГУС, реакторный комплекс ВВР-М. В Гатчине на реакторе ПИК также будет возможно проводить наработку всего ряда радионуклидов медицинского назначения.

Нарработка препаратов медицинского назначения ведется на циклотроне *Eclipse HP* и изохронном циклотроне *У-150* в Курчатовском институте. Кроме этого, развиваются инновационные технологии получения

радиоизотопов для ядерной медицины. В настоящее время ведется разработка технологии получения гибридных биосовместимых наноразмерных конструкций, проводятся работы по использованию супермагнитных наночастиц для целевой доставки лекарств, осваиваются методы нейтронзахватной терапии.

В Курчатовском центре нано-, био-, информационных, когнитивных, социогуманитарных наук и технологий (НБИКС-центр) создан научно-технологический комплекс самых современных методов ядерно-физической диагностики.

Недавно подписано соглашение о сотрудничестве между НИЦ «Курчатовский институт» и Федеральным медико-биологическим агентством (ФМБА) РФ. Ранее было подписано аналогичное соглашение между НИЦ «Курчатовский институт» и правительством Москвы. Речь идет прежде всего об исследованиях и разработках в области медицинского оборудования, о разработке новых лекарственных препаратов по основным нозологиям и редким заболеваниям, об организации снабжения клиник московского региона радиофармацевтическими препаратами для диагностики и терапии. Ученые будут участвовать также в создании и развитии новых ядерномедицинских технологий, внедрении передовых разработок в области информационных технологий для нужд медицинского комплекса Москвы. Предполагается использование научной и экспериментальной базы Курчатовского института для подготовки и повышения квалификации медицинского и инженерного персонала в области ядерной медицины.

## Диагноз поставит атом

Ядерная медицина — одна из самых эффективных в диагностике и лечении тяжелейших заболеваний. Как казалось до недавнего времени, колоссальный потенциал советских ученых в этой области почти утрачен.



Позитронно-эмиссионный томограф

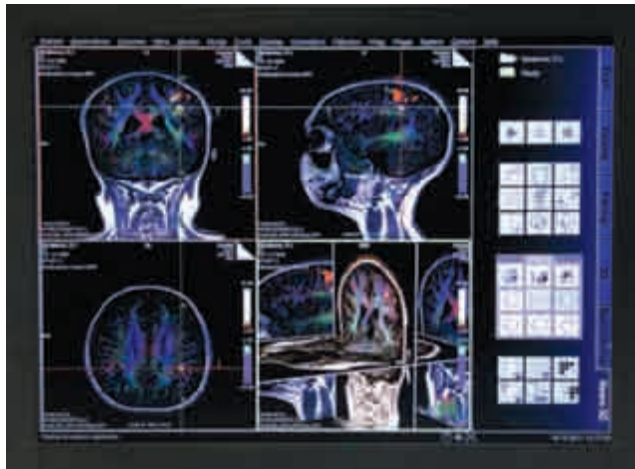


Магнитно-резонансный томограф

Но несколько лет назад во многом именно стараниями Е.П. Велихова и М.В. Ковальчука удалось привлечь внимание руководства страны к необходимости возрождения ядерной медицины. Когда-то она вышла из ядерной физики, сегодня ее развивают в рамках Курчатовского НБИКС-центра, и это не случайно. О текущем положении дел нам рассказывает начальник НТК «Молекулярная визуализация» **Николай Марченков**.

— Мы уже сегодня можем получать молекулярные изображения органов и систем человека с помощью трех технологий — магнитно-резонансной томографии (МРТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и компьютерной томографии (КТ), в совмещенном варианте ПЭТ-КТ. Это подразделение предназначено в первую очередь для исследования когнитивных процессов с целью создания новой конвергентной технологии интерфейсов «глаз-мозг-компьютер» и молекулярной визуализации биологических процессов. Вторая задача — совершенствование методов медицинской диагностики.

Нужна аппаратура, которая позволяет визуализировать состояние обследуемого организма. Основная единица здесь — аппарат компьютерной томографии. С его помощью после инъекции пациенту радиофармпрепарата мы получаем трехмерное изображение нужного органа. При такой однофотонной томографии разрешение



Компьютерная томография позволяет не только рассмотреть внутри или «разрезать» любой орган, но и определить, какие зоны активируются при выполнении того или иного задания (красное пятно на верхней картинке)

получается не очень хорошее, поэтому 30 лет назад было предложено использовать для диагностики ПЭТ-технологии — позитронно-эмиссионную, двухфотонную томографию. Сегодня ПЭТ — наиболее актуальная технология, которая позволяет визуализировать

внутренние органы на уровне вплоть до атомов и молекул. Это ранняя диагностика, а значит и раннее лечение.

Однако ядерная медицина не ограничивается только диагностикой: в нее входит и терапия. Сегодня ведутся исследования в области нанотехнологий, которые должны помочь нам разработать эффективные средства доставки, причем не только адресной. Три года назад появилось еще одно привлекательное направление, терапия, когда изотоп в одном препарате работает и для диагностики, и для терапии. Например, йод-124 — хороший гамма-излучатель для терапии, содержащий позитронную составляющую, т.е. в организме его можно легко отследить. Кстати, позитронно-эмиссионная томография позволяет очень точно спланировать радионуклидное лечение. Рассчитав размеры и форму опухоли, можно безошибочно определить дозу, необходимую для лечения. Расчет может быть такой, что излучение не будет выходить за границы опухоли и не нанесет вреда.

Речь идет не только об онкологии, но и о сердечно-сосудистых и неврологических заболеваниях, ортопедии и многом другом. Для диагностики миокарда успешно используются хлорид таллия и несколько радиофармпрепаратов, содержащих технеций-99m. Последний — один из самых востребованных диагностических радионуклидов, препараты с ним используются в 85% диагностических тестов. Его давно уже во всем мире называют «рабочей лошадкой» ядерной медицины. Например, в терапии есть хороший пример использования для диагностики и терапии золотых наночастиц. Известно, что в наномасштабах золото — в обычных условиях инертный химический материал — проявляет высокую химическую активность и через сульфидные связи можно привязывать к нему любое химическое соединение, например полиэтиленгликоль, к которому прикрепляется какой-нибудь носитель — транспорт, доставляющий наноконструкцию к месту назначения. Там уже можно визуализировать золото, направив на этот участок в инфракрасном спектре волну определенной длины. Золото в этом случае начинает светиться, и мы видим, где оно находится. Затем, если направить более мощный пучок порядка 600 нм, частички золота будут нагреваться до 60° С, т.е. будет происходить внутренняя термотерапия.

Ядерная медицина сейчас достигла своего пика. Существуют диагностический, терапевтический методы, идут активные исследования в области производства радионуклидов, адресной доставки, отработка технологий.

Будущее — за наномедициной, которая должна войти в полную силу примерно к середине этого века. Но четких разграничений тут нет и быть не может, ведь ядерная медицина сегодня — это и есть наномедицина. Ее развитие невозможно без био- и информационных технологий. В области сотрудничества с когнитивными специалистами планов тоже много. Сегодня в нашем институте мы оказались в самом средоточии конвергенции наук и технологий. ■

Беседовал Валерий Чумаков

# Многоликий лазер

Общепризнанно, что лазер (LASER, от англ. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление света посредством вынужденного излучения) — одно из крупнейших технологических достижений XX в.

Трудно найти область, где бы сегодня не применялись лазеры: это био- и фотохимия, термоядерный синтез, вооружения, космическая отрасль, информационные технологии, связь, материаловедение самого широкого спектра, где с помощью лазера можно изменять свойства материала, проводить колоссальное количество различных технологических процессов — сварку, резку, шлифовку, и, наконец, медицина, где лазерные технологии заняли самые прочные позиции.

А между тем, несмотря на то что теоретически лазер предсказывали с начала XX в., работа первого оптического квантового генератора была продемонстрирована Теодором Мейманом только в 1960 г. Сразу же во всем мире начался бурный рост военных, медицинских, машиностроительных технологий с применением лазера, и наша страна, в том числе Курчатовский институт с его филиалом ТРИНИТИ, а также ИОФАН, были одними из мировых лидеров. В то время особо актуальной стала проблема распространения мощных пучков в атмосфере, различные решения которой нашли свою реализацию в лазерах специального назначения, появилась концепция супермощных лазерных машин. Одновременно с этим в Курчатовском институте с конца 1960-х гг. в отделении молекулярной физики под руководством И.К. Киикоина активно начала развиваться другая линия работ по лазерному и плазменному разделению изотопов, спектроскопии ураносодержащих газов. Была разработана лазерная технология разделения изотопов методом селективной диссоциации молекул, а далее начало развиваться целое направление по лазерному разделению изотопов — молекулярному (MLIS) и атомарному (AVLIS). Для исследований по AVLIS в Курчатовском институте была создана установка «Талисман». На ней оптимизируются процессы обогащения урана, т.е. нарабатывается уран с очень высоким коэффициентом разделения — в тысячи и десятки тысяч раз превышающим коэффициент в традиционном центрифужном методе. Отмечу, что подобных устройств в мире было создано лишь несколько. Еще два преимущества курчатовской установки — ее компактность и то, что ее легко «перестраивать» под новые задачи. Подобные технологии важны для фундаментальной



науки, промышленности, т.к. позволяют применять изотопы, лазерные, плазменные технологии в ядерной энергетике, экспериментальной ядерной физике, медицине, экологии. Лазерные методы дают возможность нарабатывать небольшие количества целевого изотопа, такого как, например, неодим-150, который имеет самое большое сечение поглощения нейтрино. Таким образом, технологии разделения изотопов урана теперь востребованы фундаментальной физикой, а произведенные в Курчатовском институте моноизотопные материалы применяются сегодня в крупнейших международных проектах по физике нейтрино и ядерной медицине. ■

Заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт», академик РАН В.Я. Панченко

# КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЖИЗНИ

*По словам руководителя отдела «Белковая фабрика» НБИКС-центра члена-корреспондента РАН Владимира Попова, рождение белкового кристалла — феномен на стыке науки и искусства, поскольку требует знаний, профессиональных навыков и наития, свойственного людям творческим. Получение качественного кристалла — ключ к изучению структуры и свойств белка*

— **Владимир Олегович, как начиналась «Белковая фабрика»?**

— «Белковая фабрика» — это достаточно новое подразделение созданного профессором М.В. Ковальчуком всего три года назад Курчатковского НБИКС-центра. Основная наша задача — создание принципиально новой экспериментальной базы для массовой кристаллизации белков и определение атомной структуры различных белковых молекул и их комплексов. Чтобы это осуществить, нам нужно самое тесное взаимодействие с Курчатковским центром синхротронного излучения. Для исследований в области структурной биологии на Курчатковском синхротроне уже много лет существует специализированная станция «Белок». На «Белковой фабрике» сегодня можно выделить и охарактеризовать практически любой белок, получить его кристаллическую форму, чтобы затем рассчитать на суперкомпьютере строение потенциальных лигандов данного белка и предложить, например, на их основе будущее лекарство.

— **Для чего еще нужно изучать структуру белков и макромолекул?**

— Когда вы можете увидеть, как одна белковая молекула взаимодействует с другой, как устроен ее активный центр, это открывает совершенно другие возможности. Например, вы хотите создать новый катализатор для биотехнологии, улучшить его свойства — для этого нужно понимать, как он устроен. Для этих целей широко используется метод рентгеноструктурного анализа, в том

числе на синхротронном источнике. В настоящее время структурная биология востребована практически всеми отраслями наук о жизни. Задача ее — понять, как устроены компоненты живой клетки на всех уровнях. Каждую клетку можно рассматривать как настоящую фабрику, но только наноразмеров. Там тоже есть свои центры генерации энергии, дороги, по которым движутся различные вещества, а также место, где это все проектируется и синтезируется, — клеточное ядро.

— **Выходит, вы подсмотрели у природы?**

— Да, хотя до понимания всех процессов еще очень далеко. Современные методы рентгеновской кристаллографии требуют, чтобы объект был получен в кристаллическом виде. Поскольку теория этого процесса только разрабатывается, пока это фактически «метод научного тыка» — перебор различных условий, при которых можно получить кристаллы. Иногда это сотни тысяч различных состояний. У нас это делается с помощью специальных роботов.

— **Часто ли удается получить новый белок?**

— В 1980–1990-е гг. наблюдался экспоненциальный рост числа новых структур биомолекул, что было связано с бурным развитием технологий, прежде всего с тем, что на смену лабораторным рентгеновским источникам пришли источники синхротронного излучения. В России эти исследования развивались под руководством М.В. Ковальчука сначала в Институте кристаллографии РАН, а затем на качественно новом уровне в Курчатковском НБИКС-центре. Сейчас рост числа новых

структур относительно стабилизировался. Тем не менее каждый год их банк пополняется почти на десяток тысяч единиц. Все это очень важно, например, для исследования патогенеза различных заболеваний. Сегодня любой проект, связанный с поиском нового терапевтического средства, — это, как правило, громадный бюджет больше миллиарда долларов и продолжительностью 10–15 лет. При этом разработка каждого лекарственного препарата связана с пониманием того, на какую мишень он действует, знанием структуры этой мишени. Если раньше лекарства были одни для всех, то в будущем они станут индивидуальными средствами.

— **Что вам конкретно удалось сделать за два года существования лаборатории в Курчатковском НБИКС-центре?**

— Мы запустили несколько проектов, в том числе касающихся разработки лекарственных средств. Один из них связан с изучением белка под названием паркин. Название говорит само за себя: считается, что этот белок участвует в патогенезе болезни Паркинсона. Наша задача состоит в том, чтобы установить полную структуру этой сложно организованной молекулы. Это даст возможность разработать прототипы лекарственных средств, эффективных при данном заболевании.

Второй проект имеет прямое отношение к аутоиммунным заболеваниям. Мы располагаем панелью так называемых тирозинкиназ — универсальных ферментов в организме, которые участвуют в передаче различных сигналов. Уже сегодня удалось подобрать несколько потенциальных структур, которые могут стать эффективными ингибиторами *Sik*-киназы — перспективной мишени для терапии, например, ревматоидного артрита и красной волчанки.

Еще один объект, который связан с областью медицины, — так называемый механозависимый ростовой фактор. Он интересен тем, что стимулирует регенеративные процессы в мышцах. С одной стороны, его можно использовать для наращивания силы и мышечной массы, а с другой — он может помогать при таких тяжелых заболеваниях, как различные мышечные дистрофии. Препарат, с которым мы пытаемся работать, в отличие от других подобных, нацелен исключительно на мышечные ткани, поэтому может быть очень перспективным в качестве средства, стимулирующего репарацию и пролиферацию мышц. Эффект очень хороший. Мы испытывали препарат на лабораторных мышцах и крысах. После инъекции грызун становится на какое-то время в полтора-два раза сильнее, намного лучше плавает, тянет груз в полтора раза тяжелее. Однако до окончания испытаний еще очень далеко.

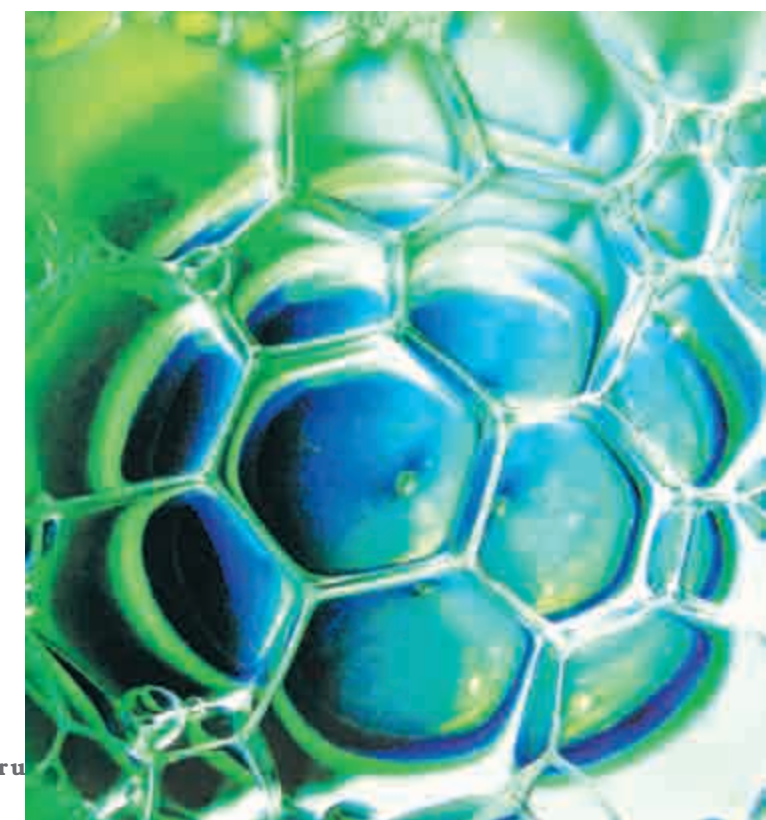
— **Какая вам нужна приборная база?**

— Современные методы молекулярной биологии позволяют даже в относительно небольшой лаборатории создавать различные биологические конструкции, которые могут иметь самое разное предназначение. Однако когда вы переходите в область структурной биологии, белковой кристаллографии, инфраструктура усложняется на порядки: необходимы сложные

установки, в первую очередь источники синхротронного излучения. Это универсальные междисциплинарные мегаустановки, которые обслуживают и физиков, и биологов, и материаловедов, и нанотехнологов. Курчатковский специализированный источник, кстати, единственный на всем постсоветском пространстве. Кроме того, мы сегодня располагаем уникальными, достаточно сложными роботизированными комплексами. Это переводит на совершенно иной технологический уровень всю нашу деятельность. Эффективность возрастает на порядок, и, кроме того, мы избавлены от рутинной работы, застрахованы от различного рода неточностей, ошибок. Роботизированный комплекс обрабатывает огромные объемы информации, ведет учет того, как кристалл растет, а ведь этих кристаллов могут быть многие тысячи. Рост порой происходит в течение нескольких недель или даже месяцев, и вы можете в любой момент получить доступ ко всей этой информации, повторить свой эксперимент либо как-то изменить его условия. Если вы получили кристалл, не факт, что он будет хорошо дифрагировать под пучком рентгеновского излучения. Возможно, вам придется изменить условия кристаллизации, попытаться получить объект более крупного размера.

— **Это настолько сложные процессы?**

— Во многом белки для нас еще темный лес. Некоторые из них крайне сложно устроены. Например, самый крупный из известных белков, тайтин, участвующий в мышечном сокращении, имеет молекулярный вес около 3 МДа. Его можно представить в виде нитки бус. Вы можете выяснить структуру одной бусинки или нескольких последовательных, но, конечно, не всей этой огромной молекулы. Многие белки вообще не имеют структуры, а приобретают ее только в том случае, если взаимодействуют со своим партнером, и лишь тогда ее можно определить.



Иначе получается некий стохастический набор конформаций — так называемых внутренне неупорядоченных белков. Их примерно 10%. Таким белкам плохо иметь структуру: у них другая физиологическая функция.

— **Какая же?**

— Допустим, узнавание различного рода объектов, т.е. они «подстраиваются» под них. Или так называемые мембранные белки. Мембрана — это липидная структура, а это значит, они жирорастворимы и их нельзя получить в виде кристаллов в водных растворах. Для этого используют различные дополнительные ухищрения, создают особую среду... Мембранные белки составляют 25% от белков клетки. Они же, кстати, представляют собой излюбленные мишени для поиска лекарственных препаратов. При этом в базе данных по структуре белков они составляют менее 1% от всего объема. Когда появляются новые структуры мембранного белка, это для нас большое событие. Получить высококачественный белковый кристалл крайне сложно. Когда исчерпаны все средства, остается еще один уникальный подход к кристаллизации в условиях микрогравитации, которым мы располагаем здесь, в Курчатовском институте, благодаря сотрудничеству с Институтом кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН, который стоял у истоков этих исследований у нас в стране. Кристаллы, выращенные на Земле, и те, что получены в условиях микрогравитации, качественно различны. Микрогравитация — это состояние, которого вы можете достичь на космической орбите. Кристаллизация там проходит по-другому, отсутствует ряд помех, что трудно реализовать в земных условиях. Поэтому когда объект исключительно ценен и важен, мы используем программу российских космических исследований пилотируемой космонавтики и отправляем этот объект на орбиту в специальной упаковке, подобрав предварительно все условия на Земле. Оператор на Международной космической станции проведет все необходимые нам эксперименты. Спустя месяц-полтора наши образцы спускаются с орбиты. Часть экспериментов проводится совместно с японскими коллегами. Шансов получить хороший кристалл, т.е. более крупный, лучшего, чем на Земле, качества, в условиях микрогравитации значительно больше. Например, у нас есть один объект, потенциально важный для биотехнологии, — так называемая уридинфосфорилаза. В земных условиях структура, которую мы получили, имела стандартное разрешение около двух ангстрем. Но переход к атомному разрешению позволяет видеть все детали структуры вплоть до положений атомов водорода, для чего необходимо понизить разрешение до одного ангстрема или даже ниже, т.е. нужны очень хорошие кристаллы, и нам удалось их получить только в космосе.

— **Правда ли, что есть белки с уже известной структурой, функция которых — тайна, покрытая мраком?**

— Да, это так. Лет десять назад в разных странах запустили программы массового скрининга структур белковых молекул. Проводили массовое секвенирование, клонирование, экспрессию, кристаллизацию и все, что не получалось, отсеивалось, а все, что получалось, пытались

довести до структуры. В результате оказалось, что известно очень много структур белков, у которых есть какой-то номер, но неизвестно, какую конкретно функцию они выполняют в живом организме. Биоинформатики как люди дотошные и вездельные составили список белков с уже известной структурой, которые, как они считают, могут иметь важную функцию, но она пока не установлена.

Например, белок под названием *DJ-1*, у которого известна структура и который, видимо, каким-то образом связан с нейродегенеративными заболеваниями. А вот как он связан, почему, какая молекула выступает его истинным субстратом, как он участвует в различного рода сигнальных процессах — неизвестно.

Мы пытаемся с помощью рентгеноструктурного анализа зафиксировать связывание фрагментов различных природных метаболитов в активных центрах подобных белков и потом, модифицируя их структуру, улучшать их связывание и в конечном счете прийти до той структуры, которая будет прочно связываться с данным белком.

— **Я слышала, к работе вы привлекаете не только крупных ученых, но и микроорганизмы, существующие в особых условиях. Зачем?**

— Стандартная задача современной биотехнологии — использование биокатализаторов вместо обычных химических катализаторов. И это еще один важный и конкретный шаг в сторону конвергенции, создания бионических систем. Биокатализаторы — это ферменты, которые функционируют в живых системах. Они уже сейчас широко используются в некоторых крупных биотехнологических процессах: производстве антибиотиков, глюкозо-фруктозных сиропов и т.д. В тонком органическом синтезе некоторые стадии очень сложно провести с помощью химических методов, но значительно легче — с помощью ферментов, которые направленно внесут в молекулы именно то изменение, которое вам нужно. Повсеместно идет поиск этих новых ферментов с новыми активностями, и источником большинства из них становятся различного рода микроорганизмы. Есть микроорганизмы, которые существуют в экстремальных условиях окружающей среды — например, высокая температура, гейзеры или подводные горячие источники, озера с высокой концентрацией солей. Такие микроорганизмы обладают набором различных полезных качеств, не свойственных обычным ферментам. Мы активно сотрудничаем с Институтом микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, который располагает коллекцией таких экстремофильных микроорганизмов, и часть их геномов секвенированы в лаборатории геномики Курчатовского НБИКС-центра. Мы пытаемся вытащить из этих геномов те ферменты с уникальными свойствами, которые могут представлять интерес для практики, например для тонкого органического синтеза. Скажем, белок, который живет в кипящей воде, или же ферменты, которые работают в присутствии 50% органических растворителей, что очень важно для технологических целей. Нам вместе с коллегами из ИНМИ РАН, Центра биоинженерии РАН удалось получить структуру нескольких таких уникальных объектов. Это ферменты различных классов —



В.О. Попов с молодыми сотрудниками «Белковой фабрики»

оксидоредуктазы, гидролазы, которые обладают уникальной стабильностью при экстремальных температурах 90–100° С. Теперь интересно понять, каким образом достигается такая выдающаяся стабильность.

— **Правда ли, что вы создаете биоконпозиты, которые совместимы с живыми организмами?**

— Такие биоконпозиты нужны для создания различного рода имплантируемых наноустройств, например источников тока для различного рода медицинской техники. Уже сейчас можно при гастроэнтероскопии заглатывать не зонд, а некое подобие таблетки или пули, которая, путешествуя по пищеводу, будет по Wi-Fi все показывать врачу. Но для этого необходим источник энергии. Эту энергию можно, например, получать непосредственно из тех метаболитов, которые находятся в человеческом организме. Универсальное топливо — глюкоза, которая окисляется кислородом, растворенным в крови, с получением энергии, которую можно трансформировать в электрический ток с помощью биотопливных элементов. С этой целью мы разрабатываем различные потенциально имплантируемые устройства, в которых необходимые нам ферменты, например для окисления глюкозы или восстановления кислорода, иммобилизованы на наноструктурированных подложках-электродах. Подобные же разработки применимы и для создания биосенсоров, например для ранней диагностики глаукомы или катаракты. А в будущем, действительно, возможности такого подхода весьма перспективны.

— **Итак, ваша конечная цель — получение структур белков. Но в чем ваша уникальность?**

— В настоящее время около 87% всех структур в мире получено с помощью рентгеноструктурного анализа, который пока выступает основным средством познания в структурной биологии. Все наши помыслы направлены на получение совершенных кристаллов, которые мы потом исследуем с помощью синхротронного излучения, получаем дифракционные картины, которые затем обрабатываются и трансформируются в трехмерные структуры, рассматривать которые доставляет и большое

эстетическое удовольствие. Особенно когда ты начинаешь понимать, как они работают: ведь это некие динамические ансамбли, они не статичны, они живут. Без тех уникальных исследовательских, технологических возможностей, которые предоставляет нам НБИКС-центр, мы были бы обычной лабораторией, которая занимается молекулярной биологией и биохимией стандартными методами. Уникальность нашего положения в том, что в одном месте соединено все: начиная от геномного и суперкомпьютерного центров, нашей «Белковой фабрики», до сложнейшего оборудования центра синхротронного излучения и нанотехнологического научного центра, возможностей кристаллизации в космосе в условиях микрогравитации. Все это позволяет эффективно и быстро решать самые сложные задачи, объединять возможности и опыт ученых, представляющих различные области науки. Исследования, проводимые на «Белковой фабрике», позволят уже в недалеком будущем подойти к созданию промышленных биотехнологий, биосенсорных устройств и биороботических антропоморфных систем.

— **По Фридриху Энгельсу, жизнь — форма существования белковых тел. Возможно ли однажды расшифровать все белки, узнать их структуру, цели, функции, следовательно, познать самих себя? Это будет означать, что мы сравнялись с Творцом?**

— Такие вопросы на то и философские, чтобы быть вечными. Известно, что структура белка определяется последовательностью аминокислот. Но еще никто не смог по последовательности аминокислот точно смоделировать структуру белка. Значит, понять, каким образом происходит сворачивание белковой молекулы и почему она сворачивается именно так, а не иначе, до сих пор не удается. Мы можем многое сказать о белках, но далеко не все. Но вообще, если представить, что мы узнали все обо всем... Наверное, это скучно. Вот я, например, не готов глубоко разбираться в своем геноме. Вероятно, я фаталист, как бы странно это ни звучало. ■

Беседовала *Наталья Лескова*

# 300 ТРИЛЛИОНОВ В СЕКУНДУ

Когда-то именно в Курчатовском институте зародился Рунет. Здесь же начал работать один из первых еще в Советском Союзе суперкомпьютеров. О том, каковы задачи и проблемы современных суперкомпьютеров, рассказывает заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт» кандидат физико-математических наук **Василий Велихов**

**К**ак известно, одна из главных функций любого суперкомпьютера — значительное ускорение расчетного цикла при решении задач, связанных с огромными объемами данных, сложнейшими расчетами, что в первую очередь востребовано сегодня в научной сфере. НИЦ «Курчатовский институт» ведет междисциплинарные фундаментальные и прикладные исследования, имеет в своей структуре мегаустановки мирового класса, участвует в крупных международных проектах, поэтому мощный информационный комплекс — это насущная необходимость.

Производительность современных суперкомпьютеров оценивается в терафлопсах (один флопс — одна операция в секунду, терафлопс — триллион операций в секунду). Суперкомпьютеры Центра обработки данных НИЦ «Курчатовский институт» имеют пиковую производительность 123 и 127 терафлопс, и этот комплекс входит в тройку самых мощных в СНГ и первую сотню мирового рейтинга.

## На чью мельницу байты?

— **Василий Евгеньевич, посмотрев материалы о вашем Центре обработки данных, можно заметить любопытную деталь. Одну работу вы делаете для Курчатовского центра конвергентных наук и технологий, другую — для CERN, третью — для ITER. Но в результате на кого вы работаете?**

— Работаем прежде всего на себя: будучи научным подразделением Курчатовского НБИК-центра, в качестве технологического вычислительного комплекса мы занимаемся сопровождением и развитием научной инфокоммуникационной инфраструктуры, включая

инженерную. Основная наша функция — высокопроизводительные вычисления, в первую очередь обеспечивающие задачи моделирования, инженерных расчетов, анализа и визуализации полученных данных. Для этих целей используются суперкомпьютеры, представляющие собой связанные и объединенные системной сетью InfiniBand кластеры. Сегодня в Курчатовском институте эксплуатируются кластеры производительностью 35 терафлопс, 123 терафлопс, 127 терафлопс (с использованием графускорителей) и ряд других, объединенных вокруг петабайтного хранилища данных.

Как информационный научно-технический комплекс мы работаем над проектами в области технологий предсказательного моделирования и обработки данных экспериментов с мегаустановок. Это прежде всего вычисления с высокой пропускной способностью на базе грид-технологий. В настоящее время к нам поступает огромный объем информации (петабайты в год) по экспериментам, проводимым на Большом адронном коллайдере (БАК) в CERN. В дальнейшем планируется вести моделирование, хранение, обработку и анализ данных мегаустановок НИЦ — источника синхротронного излучения, реактора ПИК и др., а также международных экспериментов — XFEL, FAIR, ITER, в которых Россия, и в частности Курчатовский институт, принимают самое активное участие. Для этих задач мы используем слабо связанные кластеры, петабайтные массивы хранения данных, планируем установку ленточных библиотек.

Оба направления интегрируются на базе грид-технологий и облачных вычислений, т.е., по сути, наш Центр обработки данных — мультидисциплинарный научный комплекс коллективного использования.

## От нано до био

— **В рамках конвергенции НБИК, которую развивает сегодня Курчатовский центр, какая из этих составляющих — нано, био, инфо, когно — именно ваша?**

— В Курчатовском НБИК-центре (неотъемлемой частью которого стал Центр обработки данных) по инициативе его научного руководителя М.В. Ковальчука сегодня создан сквозной междисциплинарный комплекс с полным объемом нано-, био-, инфо- и когнотехнологий. Когда мы начинаем конструировать системы наноуровня с использованием многоуровневого моделирования, объемы необходимой информации возрастают сразу на порядки. Поэтому все направления работы Курчатовского института поддерживаются единой платформой, которая обеспечивает эти моделирование и конструирование, объединяя всю технологическую базу.

Один из наших приоритетов в этом направлении — вычислительное материаловедение, потому что материальная база НБИК — создание новых материалов на основе нано- и биотехнологий, прежде всего гибридных, а это подразумевает в том числе большой объем моделирования и расчетов. Без информационных систем любая созданная с помощью нанобиотехнологий структура будет неэффективна.

— **Интересная вещь — вычислительная биология. Это что, создание цифрового гомункула?**

— Нет, вычислительная биология — это большой междисциплинарный комплекс, он включает в себя биоинформатику (применение компьютерных алгоритмов и статистических методов к наборам биологических данных), построение вычислительных моделей биологических систем, моделирование полномасштабных биологических сетей взаимодействия (для целой клетки или всего организма), имитационное моделирование поведения молекул (от нескольких атомов до «гигантских» биологических цепочек), вычисление трехмерных моделей структур белков на основе экспериментальных данных (рентгеновских и нейтронных), нейроинформатику (объединяющую нейросетевые и нейрокомпьютерные технологии).

В перспективе мы планируем работы по созданию интегрированной компьютерной модели основных подсистем человека, начиная с клеточного уров-

ня, и моделированию на этой основе реакций организма на опасные агенты (бактерии, вирусы и др.), а также лекарства, направленные на ускорение процесса разработки и доклинического испытания лекарственных препаратов путем их предварительного скрининга и количественной оценки их доклинической эффективности.

— **Но ведь не генетикой единой жив компьютер, есть и другие области, требующие суперсложных расчетов на суперкомпьютерах. Например, атомная отрасль.**

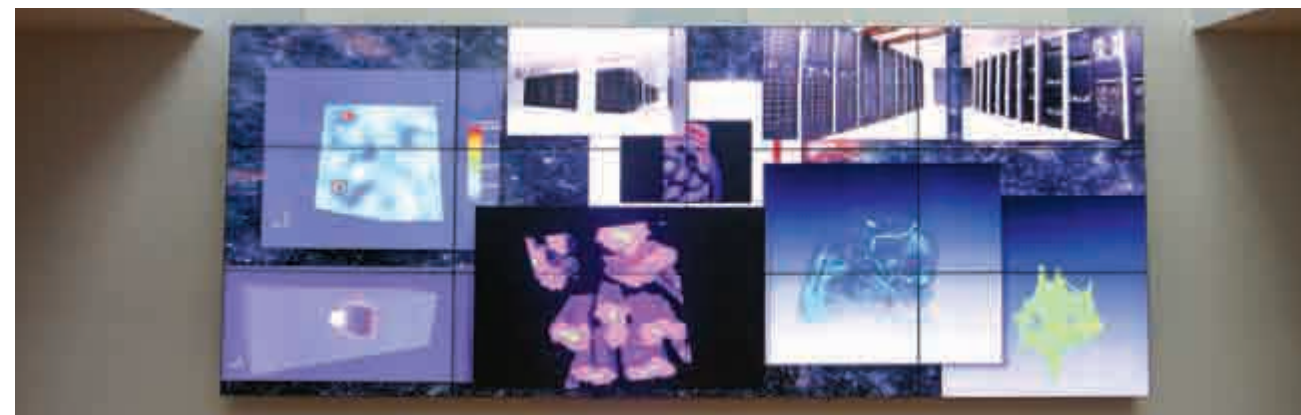
— Это традиционное направление Курчатовского института. Совместно с нашим подразделением — Институтом ядерных реакторов — мы разрабатываем методы, физико-математические модели и комплексы программ для обеспечения надежности и долговечности конструкций для ядерной энергетики, проводим инженерные, прочностные и нейтронные расчеты, решаем задачи газодинамики, тепло- и массообмена. В планах — разработка моделей и кодов, позволяющих предсказывать поведение конструкционных материалов ядерных энергетических установок при их взаимодействии с потоками нейтронов и ионов, определяя ресурс работы и компьютерный дизайн высокопрочных материалов, используемых в настоящее время.

Еще одно важное направление — физика высоких энергий, в частности физика токамаков. Сегодня запущен новый российско-итальянский мегапроект IGNITOR, в чьих рамках специалисты будут заниматься проектированием установок, требующей сложных мультифизических и прочностных расчетов, которые будут проводиться в нашем Центре обработки данных.

## Всем сестрам по байтам

— **У всех ваших заказчиков-партнеров совершенно разные задачи: компьютерный дизайн наноматериалов и систем, расчет ядерных реакций, обработка результатов столкновения пучков протонов в БАК. Но как это все у вас происходит организационно?**

— Периодически мы встречаемся с представителями наших рабочих групп, обсуждаем, что и сколько им нужно на текущий год. Сегодня, когда мощность и производительность суперкомпьютеров выросли, соответственно



Многодисплейная видеостена Курчатовского центра обработки данных

возросло и число производимых работ. Фактически мы управляем сложным мультидисциплинарным исследовательским комплексом. Есть специальные программные комитеты, рассматривающие заявки и выдающие определенные квоты на год на разные типы заявок.

— **Кроме тех проектов, о которых вы сказали, много еще сторонних заказчиков у вашего суперкомпьютера?**

— Точно ответить на этот вопрос весьма сложно. Дело в том, что мы отдаем часть ресурса в национальную нанотехнологическую сеть, где Курчатовский институт — головная научная организация, и уже она в рамках распределенных грид-вычислений раздает их разным заинтересованным учреждениям. В пределах сети мы уже поставили довольно большой комплекс различных программ, в первую очередь для развития наноматериалов и нанотехнологий, в частности и такие пакеты, которые позволяют считать любые нанобиоматериалы и структуры, гибридные материалы и многое другое. Мы взаимодействуем не с пользователями напрямую, а с представляющими их виртуальными организациями. Это удобный способ масштабирования задач. Для своих пользователей виртуальная организация уже договаривается с центрами о ресурсах, которые может получать.

### Моделист — предконструктор

— **Цифровая модель ITER у вас уже работает?**

— Нет, комплексная цифровая модель ITER пока не работает. Выдвигаются идеи по виртуальному токамаку, но для этого надо хорошо понимать и моделировать физику каждой его части, прежде всего физику горячей плазмы, а с этим пока не все так благополучно, поэтому вопрос остается открытым.

Есть и другие важные направления, которые мы развиваем, — в первую очередь моделирование технически сложных объектов, например имитационное моделирование основных систем кораблей, включая и системы управления. Это позволяет воссоздать объект в целом в цифровой модели, изучить его поведение. С одной стороны, это может быть тренажером, с другой —

вспомогательным средством для главного конструктора, с помощью которого он сможет просчитать основные параметры объекта, понять, как он себя поведет, еще до реального плавания. Такая технология позволяет выполнять ситуационное моделирование для того, чтобы оперативно найти оптимальный выход. Раньше такие стенды делали в основном для космических аппаратов. Если что-то происходит, допустим, на борту МКС, то техники на Земле воссоздают такую же ситуацию в ее имитационной модели, находят решение и дают космонавтам четкие инструкции, как вести себя в космосе.

Кроме того, именно наш центр ориентирован на сверхбольшие, петабайтные массивы данных, на их обработку и анализ. Это отдельное направление в суперкомпьютеринге, то, что называют *data intensive supercomputing*. Современные научные мегаустановки — в материаловедении, физике высоких энергий, нано- и биотехнологиях — благодаря увеличению масштаба установок, внедрению современных сенсоров и детекторов, а также быстрому развитию информационных технологий (для БАК это сотни петабайт) требуют постоянного наращивания темпов генерации экспериментальных данных. Уже сегодня наборы данных эксабайтного масштаба — часть процесса планирования для основных перспективных научных проектов, связанных с мегаустановками.

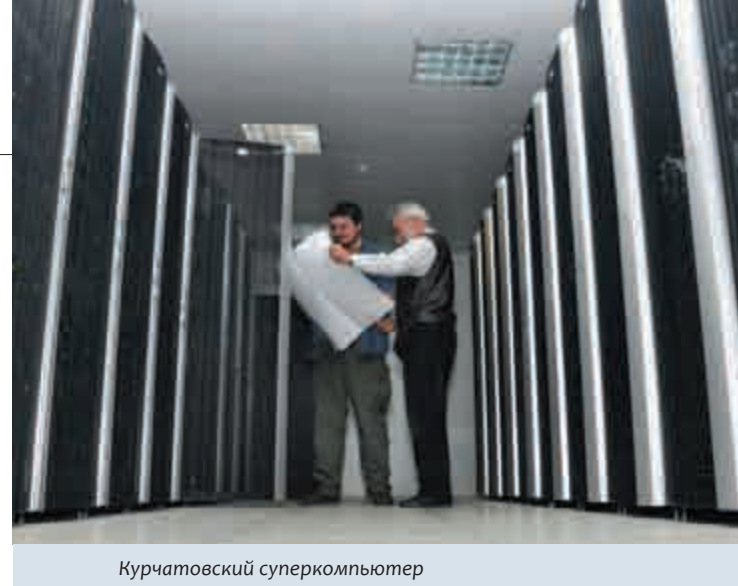
### Что имеем — не храним

— У нас есть одна проблема. В центре обрабатываются только данные экспериментов CERN, но не хранятся, поскольку центров хранения таких больших объемов информации нет. По всему миру всего 11, и пока ни одного — в России. Таким образом, мы получаем данные, обрабатываем и сдаем обратно, на хранение. И это не совсем правильно. Такой центр хранения нам крайне необходим, с ним мы сразу выйдем на новый уровень взаимодействия с международной наукой.

К 2013 г. в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.» мы (совместно с Объединенным институтом ядерных исследований в Дубне) должны сформировать опытные образцы комплексов нового поколения для первичного хранения и обработки данных, получаемых на БАК.

— **Хакерских атак не боитесь?**

— Не особенно. У нас же данные не хранятся, а хакеров это больше всего интересует, и потом мы — центр компетенции глобальной сети CERN, в том числе по защите информации. У нас есть специалисты, которые работают именно в этой сверхбольшой сети, а в ней сотни узлов, колоссальный объем, сотни петабайт данных. Их атакуют периодически, поскольку взломать CERN — это престижно. У них большой опыт; более того, они периодически проводят собственные тренировки. Недавно служба безопасности Национального института субатомной физики в Нидерландах смоделировала глобальную вирусную атаку на грид-инфраструктуру. «Нападению» подверглись 40 сайтов в 20 странах, в основном



Курчатовский суперкомпьютер

входящие в систему обработки данных с Большого адронного коллайдера. Организаторы эксперимента решили протестировать именно эту сеть из-за ее большой уязвимости к подобной агрессии: ведь она обслуживает более 8 тыс. пользователей и состоит из 300 «элементов» узлов — дата-центров, исследовательских институтов и компьютерных систем, находящихся в 50 странах. Каждый из центров обработки данных БАК несет ответственность за собственную безопасность, и не все уделяют этому вопросу должное внимание. Сотрудник нашего центра Е.А. Рябинкин обнаружил вирус еще до того, как получил «сигнал тревоги» от организаторов эксперимента, среагировал на атаку до получения такого уведомления, активировал средства защиты своего узла, отследил, откуда идет «заражение». Мы готовы к подобного рода атакам, занимаемся ими серьезно, и опыт у нас вполне достаточный.

— **Во времена СССР была установка на то, что вычислительные комплексы должны быть только отечественного производства. Просто в целях национальной безопасности. А у вас здесь, я смотрю, и HP, и ATI, и NVIDIA Tesla...**

— В ноябре 1953 г. в Институте атомной энергии была введена в действие и в течение семи лет успешно эксплуатировалась ЭВМ последовательного действия ЦЭМ-1. Средняя скорость выполнения операций сложения и вычитания была у нее 495 операций в секунду, умножения и деления — 232. В машине было задействовано около 1900 радиоламп, потреблявших около 14 кВт. В дальнейшем в Курчатовском институте использовались различные отечественные вычислительные комплексы — ЦЭМ-2, БЭСМ, СМ, ЕС-ЭВМ, планировался к установке «Эльбрус».

В последние десятилетия мы были вынуждены использовать преимущественно импортную технику. Но сегодня все более значимую роль играют и российские разработчики. Например, российская компания «Т-платформы» — лидер в деле строительства суперкомпьютеров — сейчас запускает в Курчатовском институте вычислительный кластер, по качеству сопоставимый с лучшими западными аналогами. В слабо связанных кластерах (грид-кластерах) оборудование разных производителей достаточно легко сопрягается, а в сильно связанных, когда все объединяется высокоскоростной

системной сетью, существует ряд нюансов по стыковке оборудования. Тем более что суперкомпьютер, в отличие от обычного, трудно модернизировать и расширять. Его просто меняют каждые пять-шесть лет. Для этого мы создаем гетерогенный комплекс из различных кластеров, которые могут модернизироваться по своим жизненным циклам, поскольку замена большой машины — большая сложность как для нас, так и для пользователей.

### Раздел кадров

— **А как у вас с кадрами? Молодежь берет?**

— С кадрами всегда нелегко, тем более сегодня, когда мы начали расширяться. Мы реструктурировались, выделили две группы: суперкомпьютерную и обслуживающую грид. Это особенно актуально в связи с созданием для БАК центра уровня Tier1, требующего промышленного обслуживания. У нас есть студенты с НБИК-факультета МФТИ — девять человек. Это очень важно, ведь мало у кого есть свой факультет. Сложности существуют скорее с подбором инженерного персонала.

— **Где вообще готовят специалистов по этим направлениям?**

— Таких специалистов сегодня выпускает Суперкомпьютерный консорциум университетов России во главе с МГУ им. М.В. Ломоносова. А по распределенным вычислениям, по грид-технологиям есть только специализированное обучение и дополнительная переподготовка в ОИЯИ в Дубне. Но, честно говоря, пока мы еще на себе приток этих специалистов не ощутили. Не забывайте, что у нас одновременно идут эксплуатация комплекса, его развитие и работа над проектами. Такое активное развитие, как у нас в «Курчатнике» в последние годы, не каждому мировому научному центру под силу. Нагрузка на одних и тех же людей получается очень большая. По-хорошему обслуживание должно быть отдельно, развитие — отдельно.

— **Сколько лет вашему центру?**

— Это смотря как считать. Высокопроизводительными вычислениями мы занимаемся лет шесть, грид-технологиями — более десяти. У нас еще работает один из первых в СССР дата-центров, там стоит 35-терафлопсный кластер. А новый Центр обработки данных и суперкомпьютерный комплекс мы запустили совсем недавно. Весной 2011 г. было открыто два зала, куда летом перевезли грид. Вторую очередь запускаем в промышленную эксплуатацию сейчас. Если учитывать, что мы три года назад начинали с пустого места, то развитие идет очень быстро. Здесь ведь был только бетонный куб, стены — и больше ничего. В этих стенах расположена не вся машина, она распределена гораздо шире. Все входящие в НИЦ организации участвуют в проекте БАК и включены в единую грид-инфраструктуру, созданную для анализа и моделирования данных экспериментов, проводимых на БАК. Во всех есть свои группы, соответствующие центры анализа данных, и все это связано телекоммуникационной и грид-инфраструктурой. ■

Беседовал Валерий Чумаков

По аналогии с созданием центра Tier1 для обработки данных с CERN (Tier — иерархическая система хранения и обработки данных с БАК, где Tier0 — сам CERN, Tier1 — большие вычислительные центры для полной реконструкции событий и хранения данных, Tier2 — центры поменьше, для анализа, моделирования и вычислений, а Tier3 — кластеры отдельных рабочих групп) планируется центр для FAIR, только с еще большими объемами данных, поскольку в экспериментах будет использоваться уже новое поколение детекторов, электроники.

\*\*\*

Недавно у нас прошло совещание по моделированию устройств на основе графена, и мы совместно с ИТЭФ готовим программу работ по этой тематике. В ее основе лежит наше умение моделировать многоуровневые объекты, процессы переноса. Еще одно направление в рамках НБИК-технологий — вычислительная биология.



# КОНВЕРГЕНЦИЯ СОЗНАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

*Успешное развитие нашей цивилизации возможно лишь при условии плодотворного сотрудничества фундаментального и прикладного в когнитивной науке — междисциплинарном подходе к изучению психики и мозга человека, в котором все более заметную роль играют методы и модели естественных наук*

**Н**аука во всем мире сегодня логически подошла к такому этапу в своем развитии, когда исследования в различных областях науки и технологий приобретают все более междисциплинарный характер, переходя на качественно новый этап, связанный с взаимной конвергенцией. Общепринятым обозначением таких процессов стала аббревиатура НБИК (нано-, био-, инфо-, когно-). Такое практическое взаимодействие основных научных мегатрендов успешно идет в Курчатовском НБИК-центре. Происходящие глобальные процессы объединяют окончательно, казалось бы, раздробленный на изолированные фрагменты ландшафт научных знаний.

Новым концептуальным моментом стало недавнее добавление к этой аббревиатуре буквы «С» — социо-. Возникновение «социального человека» связано с появлением рефлексивных форм сознания, т.е. таких актов сознания, в которых человек обнаруживает способность к самопознанию. С другой стороны, связь социального и когнитивного дополняется столь же очевидной его связью с информационными процессами, т.е. с процессами коммуникации, лежащими в основе работы любого социального организма.

Важнейший момент в этой области исследований — развитие когнитивных технологий. Речь идет об инструментах, материалах и процедурах, расширяющих когнитивные возможности и тем самым улучшающих производительность труда, обучаемость и самочувствие

человека. В рамках конвергентных исследований такие технологии впервые начинают опираться на передовую научную методологию.

В арсенале средств когнитивных исследований особенно важную роль сегодня играют два метода. Первый пришел к нам из области информатики, связан с компьютерной обработкой больших массивов видеоизображений и позволяет с высокой скоростью и точностью отслеживать движения глаз наблюдателя. Второй — это метод функциональной нейровизуализации на основе эффекта магнитного резонанса, долгий путь развития которого, начатый знаменитыми казанскими экспериментами Е.К. Завойского, был отмечен позднее несколькими Нобелевскими премиями.

Поскольку *Homo sapiens*, как и все высшие приматы, — существо преимущественно зрительное, с самого начала было ясно, что новая технология должна быть основана на методах регистрации движений глаз.

Каждый день мы совершаем свыше 120 тыс. саккадических (т.е. чрезвычайно быстрых и строго согласованных) движений глаз, меняющих положение точки фиксации. Конечно, далеко не все эти изменения связаны со сдвигами пространственного внимания. Часть движений глаз выполняет совершенно другие функции — например, социальные.

Особенно интересны перспективы применения такой технологии вместе с новыми оптическими материалами, такими как бидирекциональные стекла, которые

позволяют, с одной стороны, в режиме реального времени накладывать на реальную картинку дополнительную информацию (функция так называемой расширенной реальности), с другой — управлять предъявлением этой информации, равно как и другими процессами, с помощью зрения.

В силу небольшой величины фовеа (насыщенного рецепторами углубления в задней части глаза в месте, где зрительная ось пересекает сетчатку) в каждый момент времени зрительное восприятие ограничено областью, угловые размеры которой примерно равны размеру ногтя большого пальца. Все остальное — результат комбинации информации, полученной в результате множества саккадических движений глаз. Эти соображения позволяют в известной степени заглянуть в сознание другого человека.

Практическое значение результатов таких исследований трудно переоценить. Доля ошибочных диагнозов, например, в радиологии остается примерно постоянной, достигая 30%. Причина заключается в субъективности постановки диагноза специалистом-медиком. Любое сложное изображение, роль которого в медицине и других областях постоянно растет, может быть воспринято огромным числом способов. Применение метода ландшафтов внимания как раз и позволяет решить эти проблемы. Имея строго объективные данные, мы можем сравнить субъективное восприятие одного и того же образа разными специалистами, что позволит им выяснить основания для различных интерпретаций и совместно принять правильное решение.

*Если мы владеем двумя языками, то среднее время возникновения нейродегенеративных заболеваний позднего возраста, типа болезни Альцгеймера, сдвигается на четыре-пять лет. Каждый новый язык дополнительно расширяет когнитивный ресурс человека*

Естественнонаучная техника отслеживания линии зрения имеет большое количество конкретных практических приложений. Помимо уже упомянутых это, в частности, повышение безопасности дорожного движения, когда за 500 миллисекунд до возникновения опасной ситуации по картине движений глаз можно определить, произойдет ли авария.

С чего начинается социальное в человеке? С внимания к вниманию другого. Речь идет о социальном внимании к лицу и глазам другого человека, а также, что очень важно, к объектам совместного внимания других людей. О специфичности этого вида восприятия говорит факт его нарушения у людей, страдающих аутизмом. Наиболее эффективная ранняя форма его диагностики как раз



Начальник научно-исследовательского отделения нейрокогнитивных и социогуманитарных наук член-корреспондент РАН Б.М. Величковский

и состоит в том, что дети с подобными нарушениями смотрят куда угодно, но только не в глаза другого человека.

При нейродегенеративных заболеваниях, таких как болезнь Альцгеймера или паркинсоническая деменция, сначала теряются высшие формы памяти, а потом и разнообразные социальные навыки. Возникает вопрос о возможных путях увеличения социокогнитивного ресурса человека. Чрезвычайно интересное междисциплинарное открытие состоит в том, что особенно эффективным фактором увеличения когнитивного ресурса оказывается билингвизм.

Диффузная тензорная визуализация демонстрирует лучшее развитие внутримозговых связей у билингвов по сравнению с моноязычными испытуемыми, высокий уровень развития внутримозговых связей. В координатах мозга речь идет о правых лобных (или префронтальных) областях коры.

Интересно, что, когда возникает ситуация контакта глаза в глаза, активируются именно эти области. Точно так же, когда в совершено других экспериментах мы просим испытуемых оценить, какой смысл данная информация имеет для них лично, преимущественно активируются правые префронтальные области коры. Наконец, именно эти области бывают изменены у больных, страдающих аутизмом. В исследованиях, таким образом, наблюдается удивительное пересечение социальных и когнитивных переменных с физико-химическими и физиологическими процессами. Это огромный, до сих пор малоизученный континент фундаментальных исследований и практических приложений, которые позволят нам в будущем не только улучшить взаимодействие с высокотехнологичным окружением, но и заметно увеличить когнитивный ресурс человека. ■

Беседовал Валерий Чумаков



# Коды Вавилонской библиотеки мозга

О когнитивных исследованиях в Курчатовском НБИКС-центре и о современной науке о мозге в целом нам рассказал руководитель отделения нейрофизиологии и когнитивных наук НИЦ «Курчатовский институт» член-корреспондент РАН и РАМН  
**Константин Анохин**

## Познать свой мозг

Есть две ключевые проблемы науки, прорыв в которых можно ожидать в ближайшие 20 лет: строение Вселенной и биологические основы сознания. В первом вопросе уже существует рабочая теория — Стандартная модель. В исследованиях мозга все гораздо сложнее. Мозг разных видов животных с совершенно разным строением способен к сходной когнитивной деятельности. Поэтому необходима фундаментальная, желательна математическая теория сознания для разных материальных носителей, вплоть до искусственных. Однако математик или физик-теоретик не знает тех фактов, которые должны составить фундамент такой теории, а работающий

с подобными фактами клеточный нейробиолог не может быть экспертом в области аналитической философии сознания. Получается, что проблема принадлежит всем этим и многим другим дисциплинам, но ни одной из них в отдельности, т.е. считается междисциплинарной. Курчатовский НБИКС-центр был задуман и создан М.В. Ковальчуком для решения именно такого рода конвергентных проблем, имеющих фундаментальное значение для науки и технологий будущего. Проблема мозга и сознания важна в этом смысле по трем причинам.

Первая — биомедицинская. Мы надеемся хоть в какой-то степени облегчить те страдания, которые приносят

человечеству заболевания мозга. Более половины наследственных болезней связаны с нарушениями функций мозга. Кроме того, человечество движется в направлении постепенного старения, и проблема нейродегенеративных нарушений, возрастных расстройств памяти и интеллекта становится все острее. Любые сведения о том, как мозг осуществляет свои когнитивные функции и что разлаживается в нем при старении, имеют огромное значение для миллионов людей.

Вторая сторона — технологическая. Сегодня мозг — самое совершенное вычислительное устройство. Лучшие из существующих компьютеров отстают от него по эффективности на шесть-девять порядков. Наш мозг способен к потрясающе быстрому поиску в огромных массивах данных, распознаванию и работе в «зашумленной» среде, массивным параллельным вычислениям, широчайшему ассоциативному обучению, категоризации, абстракциям, эмоциям и чувствам, затрачивая на все это около 30 Вт. Даже малая толика того, что он делает, воплощенная в технологии, способна трансформировать общество, промышленность, экономику и жизнь каждого человека.

Третья сторона самая важная. Изучая, как, по словам И.П. Павлова, «материя мозга производит субъективное явление», мы стремимся понять, кто мы такие, откуда пришли, как устроено наше «я».

## Вавилонская библиотека

В одном из небольших рассказов Борхеса говорится об огромной Вавилонской библиотеке, автор называет ее также Вселенной, состоящей из бесчисленного множества комнат, заполненных шкафами с книгами, в каждой из которых 410 страниц, на каждой странице 40 строчек из 80 букв, а общее число знаков для письма равно 25. Во всей библиотеке нет двух одинаковых книг. Сам автор утверждает, что библиотека беспределна. Энтузиасты вычислений подсчитали, что ее размеры превосходят объем видимой Вселенной примерно в  $10^{611338}$  раз. Я думаю, метафора библиотеки скрывает за собой Вселенную состояний нашего сознания, полное собрание всех возможных произведений нашего мозга. А то, какими кодами записано содержание этих «книг» в сетях нервных клеток, и составляет основную проблему для современных исследователей мозга. Мы знаем только начальные условия этого кода: наш мозг содержит примерно 86 млрд нервных клеток, каждая может иметь до 10 тыс. контактов с другими клетками, количество связей в такой сети исчисляется сотнями триллионов. Количество возможных комбинаций активности, которую может генерировать такая гигантская сеть, исчисляется цифрами, превышающими число элементарных частиц в известной Вселенной. Где-то в активности этой гиперсети и скрыт тот самый комбинаторный код, который мы ищем.

Сегодня мы имеем только одну действительно математическую теорию для расчетов сознания, так называемую теорию интегрированной информации, разработанную нейробиологом из Висконсинского университета

в Мадисоне Джулио Тонони. Суть ее заключается в том, что сознание в сети — это информация, которая возникает сверх информации, содержащейся в изолированных взаимодействиях ее частей — любых ее элементов, групп и комплексов. Поэтому кора головного мозга, где все очень сильно переплетено, так нужна для нашего сознания, с ней связаны высшие функции мозга, а мозжечок, где нервных клеток в несколько раз больше, чем в коре, но они работают врозь, не связанными друг с другом модулями, не имеет для сознания особого значения. При повреждении мозжечка наступают нарушения моторики, движений, но сознание почти не страдает.

Эта теория позволяет сравнить потенциальный уровень сознания у любой системы: взрослого человека, младенца, собаки, червя, робота. Самая простая модельная система, которую сегодня исследуют ученые в нейронауках, — нервная система миллиметрового червя (почвенной нематоды) — имеет всего 302 нейрона. Все эти нейроны известны, и расшифрована вся сеть связей между ними. Она содержит около 6 тыс. контактов. Для того чтобы рассчитать потенциальный уровень сознания нематоды, пользуясь возможностями современного компьютера, потребуется приблизительно  $10^{79}$  лет. Такой объем сложности, который мы имеем, когда обращаемся к нашему мозгу и его степеням свободы.

Однако можно редуцировать сложность задачи с помощью теории мозга, сделав при этом субъективный опыт доступным не только для математических, но и для экспериментальных исследований.

## Социальные сети мозга

Мы уже говорили, что мозг можно рассматривать как гигантскую нейронную сеть, — это первый принцип нашего подхода. Исследуя мозг как сеть, мы, с одной стороны, применяем к нему все современные методы экспериментальной нейронауки, а с другой — движемся в сторону теории мозга и сознания.

Отделение нейрофизиологии и когнитивных наук Курчатовского НБИКС-центра было задумано М.В. Ковальчуком как раз для того, чтобы расшифровывать коды нейронных сетей мозга. Поэтому первая его задача — разработать новые экспериментальные подходы, позволяющие увидеть мозг как сеть, экстрагировать фундаментальные принципы ее работы, понять механизмы ее «поломок» как нарушение работы сети.

В этих исследованиях мы опираемся на огромный опыт когнитивной нейронауки в России. В числе пионерских работ российских ученых — и теория функциональных систем, которой мы пользуемся в качестве второго принципа в нашей работе.

Представьте себе большую страну с многомиллионным населением. Наш мозг отчасти похож на такое государство. У него есть свои республики, районы, мегаполисы, где сосредоточены десятки миллионов нервных клеток. Вся эта гигантская социальная система охвачена распределенными сетями — транспортными, финансовыми, промышленными, военными, коммуникационными и т.д., вплоть до криминальных. Каждая из них

глобально охватывает весь мозг — всю страну, но в каждом из городов и участков она представлена лишь несколькими элементами — нервными клетками, своими агентами. Каждая сеть решает свою задачу — все ее рассыпанные по стране участники, возможно, ничего и не знают друг о друге, но объединены одной целью. Такая распределенная сеть элементов, работающих совместно для достижения общего результата, и есть функциональная система. Этим сетям в нашей нервной системе огромное количество, когда-то они спят, когда-то — просыпаются, и в этот момент у человека возникает те или иные ощущения, образы, мысли, действия, поступки.

В отношении к кодам Вавилонской библиотеки мозга теория функциональных систем говорит, что именно такие рассеянные сети и составляют произведения этой библиотеки. Их тексты не записаны в отдельных книгах, это именно распределенный код, где отдельные буквы и слова взяты из миллионов книг по всей библиотеке. Только высветившись вместе в этих книгах в какой-то момент, они составляют некое единое осмысленное произведение.

## Радикальная редукция сложности

Мы разобрали два фундаментальных принципа организации когнитивных сетей мозга: любой мозг может быть описан в виде глобальной нейронной сети, и кодирование когнитивной информации в ней осуществляется распределенным, реляционным кодом. Однако мы не решили главной проблемы — огромной сложности, невообразимого числа степеней свободы в такой сети. Третий принцип нашего подхода направлен на радикальную редукцию этой сложности. Он связан с механизмами памяти.

Исследования показывают, что одиночный «кадр» нашего сознания, своего рода «стоячая волна» из сцепленной активности распределенных по мозгу нейронов,

продолжается доли секунды. Средняя продолжительность жизни человека — 70 лет, то есть около 2,2 млрд сек. Около трети времени мы тратим на сон, так что в контакте с внешним миром мы находимся менее 1,5 млрд сек. За это время мы испытываем несколько миллиардов состояний сознания. Это, конечно, много, но уже совсем не те астрономические цифры, которые дает рассмотрение всех потенциальных степеней свободы мозга.

Однако реальную редукцию числа степеней свободы Вавилонской библиотеки мозга осуществляет память. Большинство «кадров сознания» не записываются в долговременную память, не оставляют следов на полках библиотеки нашего мозга. Эпизоды же, которые попадают туда, сгруппированы в смысловые сегменты, что еще сильнее компрессирует запись. В итоге наша память за всю жизнь, по-видимому, накапливает существенно меньше миллиарда произведений, возможно, не больше, чем число книг в Британской библиотеке. А мозг мыши, имеющей около 70 млн нервных клеток и живущей не более трех лет, то есть около 90 млн сек, вряд ли содержит более миллиона произведений. Продолжительность жизни червя нематоды — две-три недели, т.е. около 1,5 млн сек. Это уже те объемы, с которыми вполне можно работать не только теоретически, но и экспериментально.

Каждая распределенная по мозгу сеть нейронов, сцепленных единым когнитивным опытом, одно содержащееся в памяти «произведение» нашего мозга — это один его когнитивный элемент. Мы будем называть такие элементы когами. В совокупности они образуют систему опыта конкретного организма — его когнитом. Этим термином мы будем обозначать особую сеть из тесно переплетенных и взаимодействующих друг с другом когнитивных нейронных сетей.

Мы рождаемся с рудиментарным когнитомом, содержащим очень небольшой репертуар видовых функциональных систем. Но с первых же минут жизни он начинает обрастать сетью новых, отличающихся у каждого из нас когнитивных элементов. С возрастом он начинает перекрываться процессами старения когнитомы — распадом когов, ослабления и потери связей между ними.

Концепция когнитомы позволяет выявить ключевые свойства естественных нервных сетей, важные для создания искусственных когнитивных сетей. Активация, например, отдельных узлов в естественном когнитоме за счет перекрещивания нервных участников в этих когнитивных сетях способна вытянуть за собой из памяти многие другие коги. Это объясняет, почему мозг обладает такой потрясающей автоассоциативностью.

## Ловцы нейронных сетей

Сегодня лучшие из томографических методов сканирования мозга человека имеют разрешение около кубического миллиметра. В 1 куб. мм коры головного мозга может быть до 80 тыс. клеток. Это большой город, а возможно, и несколько малых городов. И там нас интересует лишь один житель-нейрон, а все остальные будут фоном. Пользуясь традиционными методами сканирования мозга, мы получим карту очагов, где будет видно, что

в таких-то районах сейчас активность больше, в других меньше. Раскрыть эту сеть, понять истинные принципы ее работы, декодировать ее по таким «тепловым картам» не получится. Значит, нам нужно видеть сеть не с миллиметровым, а с клеточным разрешением. Один такой метод мы нашли в конце 1980-х гг. В нервных клетках работают для записи новой информации уникальные гены. Для того чтобы мысль или событие зафиксировались в памяти надолго, нервные клетки должны включить свой генетический аппарат и синтезировать новые белки. Когда вы видите, узнаете что-то новое, в миллионах нейронов вашего мозга происходят вспышки активации генома. Но какие гены начинают работать в нервных клетках для того, чтобы запомнить новую информацию, не было известно.

Нам с коллегами из Институтов молекулярной биологии и молекулярной генетики удалось их найти. Гены, которые мы нашли, в частности ген *c-fos*, составляют своеобразное «бутылочное горлышко» в сложнейших молекулярных сетях и каскадах внутри клетки. Сигналы, которые приходят к клетке и которые ей необходимо запомнить, уникальны для каждой клетки, спектр их очень велик. Но дальше они все сходятся на ядре клетки, и если требуется выполнить сигнал «Запомни сейчас!», то включается очень ограниченное число генов, названных немедленными ранними генами. Когда нервная клетка запоминает что-то, она должна активировать один из этих генов. Это узкое горлышко, которое «засветится» и покажет, что клетка «включила память». Таким образом наряду с расшифровкой генетического механизма памяти клетки мы получили уникальный инструмент для выявления функциональных систем, образующихся по всему мозгу.

## Взламывание кодов мозга с помощью фотонов

Эти новые подходы стали возможны лишь в Курчатовском НБИКС-центре и отражают его идеологию конвергенции разных дисциплин для решения единой задачи. Например, используемые в этих исследованиях методы нейрофотоники и нейрооптогенетики требуют соединения новейших достижений в области анализа поведения и обучения, нейрофизиологии, молекулярной биологии и геномной инженерии, лазерной физики и волоконно-оптических технологий. Кроме того, мы взаимодействуем со специалистами НБИКС-центра в области нанотехнологий и материаловедения для создания новых сенсоров нейронной активности, со специалистами в области ядерно-физических методов для томографии структуры и связей мозга, с психологами, изучающими когнитивные функции у человека, со специалистами в области информационных технологий — с целью визуализации и анализа когнитивных нейронных сетей мозга, с математиками — с целью их моделирования, в одном из этих конвергентных подходов мы используем генетически модифицированных мышей, в геном которых встроен специальный репортерный конструкт, индикатор обучения нейрона. Это искусственная генетическая кассета, где в начале стоит регуляторный участок, вырезанный из гена *c-fos*, который мы



Генетически модифицированные мыши, в геном которых встроены специальные репортерные конструкции

идентифицировали как активирующий в клетке сигнал запоминания. Когда в ядро клетки поступает сигнал «Запомни!», она включает работу этого гена. Далее в этой кассете стоит ген зеленого флуоресцентного белка. Когда этот белок синтезируется, мы можем увидеть все такие нейроны как загорание отдельных электрических лампочек в огромной сети по всей «стране».

В двух других способах вылавливания когнитивных сетей регуляторный участок гена *c-fos* включает работу других генетических элементов. В первом из них ген рецептора, реагирующего на химические сигналы, например дифтерийного токсина. При активации когнитивной сети во всех клетках, которые в нее входят, и только в них появляется этот рецептор. При введении в организм дифтерийного токсина, который сам по себе безвреден, он убьет только клетки с его рецептором, уничтожив тем самым всю когнитивную сеть целиком, но не тронув непричастных к ней соседей.

Мы можем избирательно стимулировать когнитивные нейронные сети оптическими методами. Для этого под регуляторный участок нашего гена — крючка для когов можно подстраивать гены, кодирующие рецепторы, делающие клетку чувствительной к фотонам, к освещению. Каждый раз, когда на такой нейрон падает свет определенной длины волны, этот фоточувствительный рецептор возбуждает клетку. Один импульс света — один нервный импульс клетки. Вводя в мозг оптические волокна, или даже освещая мозг животного сверху, через череп, мы можем теперь направленно управлять нервными клетками в такой когнитивной сети, специфическом коге, который мы поймали.

Это лишь начальные шаги исследования когнитивных нейронных сетей мозга и построения теории когнитомы. Когнитом реален, и его можно исследовать, однако самой теории еще предстоит отточить свои аксиомы и постулаты, выстроить свод следствий и эмпирических предсказаний.

Беседовал Валерий Чумаков



Вводя в мозг оптические волокна, можно направленно управлять нервными клетками когнитивной сети

# Социогуманитарные науки в Курчатовском НБИКС-центре

*Очевидно, что существующее деление на многочисленные науки, отрасли, подотрасли во многом условно, создано самим человеком для более простого и удобного осмысления, систематизации получаемых им научных знаний*

**Л**авинообразный, закономерный и неизбежный процесс дифференциации единого массива натурфилософии начался еще в XVI–XVII вв. по мере развития научного знания, технологий, методов и принципов познания окружающего мира. В процессе вычленения и быстрого развития отдельных научных дисциплин, основанных на экспериментальном подходе, опытным исследовании природы, единый массив науки — натурфилософия — разделился на «натуральную» часть, из которой развивались естественные науки, и философию, ставшую инкубатором для гуманитарных дисциплин.

Примерно с конца XIX в. наблюдается возникновение и развитие пограничных наук. Важный вклад в этом направлении внесли русские ученые: В.И. Вернадский, К.Э. Циолковский, В.М. Бехтерев и др., которые в своем научном творчестве рассматривали все природные процессы как единое целое, развивающееся по общим законам, объединенное неразрывными связями общей системы (ноосферы, Вселенной, антропосферы). Таким образом, одновременно с процессом дифференциации начал развиваться и процесс интеграции наук, объединения их (и их методов), стирания граней между ними, т.е. междисциплинарности. Это совпало с заменой анализа как метода познания на синтез. Одна из всеобщих закономерностей исторического развития науки — диалектическое единство дифференциации и интеграции: образование новых научных направлений, отдельных наук сочетается со стиранием резких граней, разделяющих различные отрасли науки, с образованием интегрирующих дисциплин, взаимным обменом методами, принципами, понятиями и т.д. Следующий этап развития — переход от отраслевого подхода к формированию науки и технологий к парадигме конвергенции наук и построению на этой базе принципиально новых технологий. Главной отличительной чертой таких технологий

должна быть их максимальная близость к естественным природным процессам, способность быть включенными в их единство и взаимосвязи.

Очевидно, что, двигаясь по пути синтеза природоподобных систем и процессов, человечество подойдет к созданию антропоморфных технических систем. Такие системы, в отличие от менее высокоорганизованных копий живого, должны обладать как минимум элементарными функциями, способностью реализовать познавательные функции. Решение этих задач возможно только на базе объединения методологии нано-, био-, информационных технологий с подходами и методами когнитивных наук, изучающих и моделирующих сознание человека, его познавательную деятельность.

Когнитивная наука междисциплинарна по своей природе, она объединяет многие отрасли знания, имеющие один объект изучения — мозг. По мере проникновения в закономерности механизмов работы мозга его изучали психологи, лингвисты, социологи, психиатры, физиологи, основываясь на тех или иных поведенческих, речевых и прочих реакциях, условных и безусловных рефлексах человека или животного в ответ на внешнее воздействие. Но сегодня с помощью ядерно-медицинских методов мы можем изучать мозг и сознание уже на молекулярном уровне, и с этим связан прорыв в такой сложнейшей сфере. Соответственно, когнитивная наука сегодня в равной степени и естественная, и гуманитарная. Налицо не только взаимопроникновение, сближение отдельных наук в естественнонаучном или социогуманитарном блоках, но и процессы конвергенции этих двух направлений.

Сегодня в России конвергентный подход в развитии наук и технологий уже реализуется под руководством М.В. Ковальчука в созданном по его инициативе Курчатовском НБИКС-центре, где объединены четыре глобальных научных направления — нано-, био-, информационные и когнитивные технологии. Не так давно к ним присоединилась



Заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт»  
Е.Б. Яцишина, отделение нейрокognитивных  
и социогуманитарных наук

и филологических наук, профессора СПбГУ Т.В. Черниговскую. Социогуманитарное подразделение работает в самой тесной связи с отделением нейрофизиологии, молекулярной визуализации, математического моделирования и информационных технологий, робототехники и микросистем.

Среди основных направлений деятельности отделения социогуманитарных и когнитивных технологий — исследование когнитивных и коммуникативных процессов у человека, прежде всего с точки зрения процессов принятия решений и разработки человеко-машинных интерфейсов. Это включает в себя исследования механизмов когнитивной деятельности человека, в том числе с использованием всего спектра ядерно-физических методов, имеющихся в Курчатовском НБИКС-центре, влияния лингвистических, социокультурных и генетических факторов на различные когнитивные процессы.

Одна из наиболее перспективных методик исследований — мозговое картирование различных психофизиологических показателей, регистрация движений глаз. Весьма важно также изучение человеческих языков как интерфейсов между мозгом и сознанием, мозгом и окружающим миром. Крайне перспективно исследование когнитивных механизмов реакций, действий человека в условиях стресса, быстрой адаптации при смене алгоритма работы, выработки новых навыков при работе с большими объемами информации, в непривычной среде и т.д. Очень актуальны также исследования и разработки по компенсации когнитивных нарушений, разработка методов диагностики и коррекции когнитивных дефектов, их связь с нейрокибернетическими технологиями. В связи с этим идет разработка технологий и телеметрического аппаратного обеспечения регистрации таких когнитивных процессов, изменения мозговых механизмов при тренировке и в условиях сверхбыстрого переключения заданий. Крайне важно также изучение социального и когнитивного взаимодействия в системах «человек — компьютер» и разработка новых интерфейсов «человек — внешняя среда». Глобальная цель деятельности отделения, сформулированная М.В. Ковальчуком, — создание технологий использования полученных фундаментальных знаний в нейрокognитивных биоподобных устройствах и антропоморфных системах искусственного интеллекта, адекватных алгоритмов работы с «расширенной» и «другой» реальностью.

Пожалуй, наиболее успешно на сегодня продвигаются разработки перспективных человеко-машинных интерфейсов, включая системы искусственного интеллекта, адекватные модусы взаимодействия в связке «человек — компьютер». Например, биопротезы, управляемые сигналами мозга человека, реципиента — это уже насущная реальность, очень важная социальная разработка.

Идут также исследования генетических и нейрофизиологических предпосылок когнитивного и эмоционального развития на базе отделения нейрофизиологии и геномного отделения Курчатовского НБИКС-центра, на примере чего хорошо видна конвергенция естественнонаучного и гуманитарного знания. Генетика зародилась как часть

# НАТУРФИЛОСОФИЯ



## ПРЕВРАЩЕНИЕ ГУМАНИТАРНЫХ ЗНАНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ

биологии, общие закономерности наследственности и изменчивости изучали с помощью подходов антропологии, этнографии, археологии, лингвистики, истории сравнительными, описательными методами. Но с момента расшифровки структуры двойной спирали ДНК с помощью рентгеноструктурного анализа биология стала естественнонаучной дисциплиной, а с развитием нанотехнологий и молекулярной биологии появились бионанотехнологии, чтение генома перешло на наноуровень, началась ускоренная расшифровка генома живых существ. В процессе конвергенции нанотехнологий и информатики с биологическими знаниями в геномике начался резкий, принципиальный прорыв. Расшифровка генома человека была произведена в лаборатории геномики Курчатовского НБИКС-центра в 2009 г. — восьмой в мире. Сегодня здесь совместно с другими российскими научными институтами создана этногенетическая карта России, в основе которой лежит сравнение геномов представителей конкретного этноса по 600 тыс. точек,

что позволяет изучать генетические особенности различных этнических групп. Без конвергентных технологий анализ подобного объема информации был бы просто невозможен. Так, в лингвистике давно существуют сравнительные методы, изучающие эволюцию языка, структуру протоязыка. Сегодня с помощью генетико-информационных расчетов лингвисты могут проводить кросскультурные исследования, анализируя таким образом различные лингвистические данные. Так генетика стала мостиком, связывающим гуманитарный и естественнонаучный блоки, т.е. сегодня гуманитарные знания превращаются в гуманитарные технологии.

Отдельное направление изучает обобщение курчатовского опыта НБИКС-конвергенции, ее исторических и философских предпосылок. Это крайне важно с точки зрения социологии и методологии для задач образования и организации будущих научных исследований. ■

Екатерина Яцишина

# МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПАРТНЕРЫ НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



| Участники НИЦ «Курчатовский институт»  | Международные мегапроекты   | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»   | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»   | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»   | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»   | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»  | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»  | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»   | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт»   | Международные партнеры НИЦ «Курчатовский институт» |
|--|---|--|--|--|--|---|---|--|--|--|
| <p>Курчатовский институт, г. Москва</p> <p>Институт теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ), г. Москва</p> <p>Институт физики высоких энергий (ИФВЭ), г. Протвино, Московская обл.</p> <p>Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова (ПИЯФ), г. Гатчина, Ленинградская область</p> | <p>Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР (ITER), Франция</p> <p>Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах РЛСЭ (XFEL), Германия</p> <p>Большой адронный коллайдер в европейской организации по ядерным исследованиям ЦЕРН (CERN), Швейцария</p> | <p>Европейский центр по исследованию ионов и антипротонов FAIR (FAIR), Германия</p> <p>Международный эксперимент физики элементарных частиц БОРЕКСИНО (BOREXINO), Италия</p> | <p>АВСТРИЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Венский исследовательский ускоритель VERA, г. Вена</li> <li>MAGATЭ, г. Вена</li> </ul> <p>ВЕЛИКОБРИТАНИЯ</p> <p>Синхротрон ДАЙМОН, графство Оксфордшир</p> <p>ВЕНГРИЯ</p> <p>Центр исследований в области энергетики Академии наук Венгрии, г. Будапешт</p> <p>ВЬЕТНАМ</p> <p>Институт атомной энергии Вьетнама, г. Ханой</p> <p>ГЕРМАНИЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Немецкий электронный синхротрон DESY, г. Гамбург</li> <li>Мюнхенский технический университет, г. Гархинг</li> <li>Институт ядерной физики имени Макса Планка, г. Хейдельберг</li> </ul> | <p>ГРЕЦИЯ</p> <p>Национальный научно-исследовательский центр «Демокритос», г. Афины</p> <p>ИСПАНИЯ</p> <p>Национальный центр по термоядерным исследованиям CIEMAT, г. Мадрид</p> <p>ИТАЛИЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Синхротрон «ЭЛЕТРА», г. Триест</li> <li>Национальный институт ядерной физики, г. Фраскати</li> </ul> <p>КАЗАХСТАН</p> <p>Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов</p> <p>КИТАЙ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Юго-западный институт физики, г. Чэнду</li> <li>Институт энергетики Сианьского политехнического университета, г. Сиань</li> </ul> <p>НИДЕРЛАНДЫ</p> <p>Институт физики плазмы «Рейнхузен», г. Ньюегейн</p> | <p>НОРВЕГИЯ</p> <p>Норвежское Агентство по радиационной защите, рядом с г. Осло</p> <p>РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ</p> <p>Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны», г. Минск</p> <p>США</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Аргоннская национальная лаборатория, г. Чикаго</li> <li>Ливерпульская национальная лаборатория им. Лоуренса, г. Ливермор</li> <li>Национальная лаборатория им. Лоуренса, г. Беркли</li> <li>Брукхейвенская национальная лаборатория, г. Аптон</li> <li>Окридская национальная лаборатория, г. Окридж</li> </ul> <p>УКРАИНА</p> <p>Национальный научный центр Харьковского физико-технического института, г. Харьков</p> | <p>ФИНЛЯНДИЯ</p> <p>Университет Ювяскюла, г. Ювяскюла</p> <p>ФРАНЦИЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Европейский центр синхротронного излучения ESRF, г. Гренобль</li> <li>Центр ядерной и масс-спектрологии, г. Орсе</li> <li>Комиссариат по атомной энергии Франции, г. Париж</li> </ul> <p>ЧЕХИЯ</p> <p>Чешский Институт физики, г. Прага</p> <p>ШВЕЙЦАРИЯ</p> <p>Политехнический университет, г. Лозанна</p> <p>ШВЕЦИЯ</p> <p>Институт фундаментальной физики Чельмерского технического университета, г. Гетеборг</p> <p>ЮЖНАЯ КОРЕЯ</p> <p>Корейский институт науки и технологии, г. Сеул</p> | <p><b>АЭС</b></p> <p>Южно-Украинская АЭС г. Южноукраинск, Украина</p> <p>Ровенская АЭС г. Кузнецовск, Украина</p> <p>Запорожская АЭС г. Энергодар, Украина</p> <p>Хмельницкая АЭС г. Нетешин, Украина</p> <p>Армянская АЭС г. Мецамор, Армения</p> <p>АЭС Козлодуй г. Козлодуй, Болгария</p> <p>АЭС Пакш г. Пакш, Венгрия</p> <p>АЭС Богунце г. Богунце, Словакия. АЭС Моховце г. Моховце, Словакия</p> | <p>АЭС Ловиаса рядом с г. Ловиаса, Финляндия.</p> <p>АЭС Дукованы г. Дукованы, Чехия</p> <p>АЭС Темелин г. Ческе-Будеёвице, Чехия</p> <p>АЭС Бушер г. Бушер, Иран</p> <p>Тяньваньская АЭС г. Тяньвань, провинция Цзянсу, Китай</p> <p>АЭС «Куданкулам» г. Тирунелвели, Индия</p> | <p><b>Российские АЭС</b></p> <p>Нововоронежская АЭС г. Нововоронеж, Воронежская обл.</p> <p>Кольская АЭС г. Полярные Зори, Мурманская обл.</p> <p>Балаковская АЭС г. Балаково, Саратовская обл.</p> <p>Калининская АЭС г. Удомля, Тверская обл.</p> <p>Ростовская АЭС г. Волгодонск, Ростовская обл.</p> <p>Ленинградская АЭС г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.</p> <p>Курская АЭС г. Курчатова, Курская обл.</p> <p>Смоленская АЭС г. Десногорск, Смоленская обл.</p> |  |



# ФАБРИКА ДЛЯ УЧЕНЫХ

## Они копируют ДНК всей семьей

Анна Ясная и Евгений Черкашин работают в Курчатовском НБИКС-центре третий год и о своих научных исследованиях могут рассказывать долго и увлеченно. Научная работа стала важной частью их жизни задолго до прихода в Курчатовский институт, еще со студенчества. После окончания химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова они вместе учились в аспирантуре на том же факультете на кафедре химической энзимологии в лаборатории генетической инженерии и белкового дизайна. Кстати, именно там начался их путь не только в науку, но и в семейную жизнь. Теперь в семье Черкашиных два молодых ученых, два кандидата наук, два сотрудника лаборатории «Белковая фабрика» Курчатовского НБИКС-центра. И целых три спортсмена — серьезное увлечение горными лыжами разделяет их семилетний сын Алексей.

«Белковая фабрика», куда каждое утро приходят на работу Анна и Евгений, — это целая совокупность современных технологий, работающих как настоящий

конвейер. Здесь получают образцы высокоочищенных белков и их комплексов для последующей кристаллизации и определения трехмерной структуры. Информация о структуре нужна в том числе для поиска и разработки новых лекарственных средств, — так называемого драг-дизайна.

— Еще одно направление работы «Белковой фабрики» связано с биотехнологическими проектами, — рассказывает Евгений. — Можно улучшить конкретный белок, меняя его свойства с помощью мутагенеза, повысить его эффективность или термостабильность, сделать более активным или адаптировать к работам в разной среде. Но это только приложение, а на самом деле научных задач много.

Евгений и Анна по образованию химики, но в мире биологии они свои. «Белковая фабрика» в этом смысле — междисциплинарный конвейер. Здесь рядом друг с другом работают специалисты разного профиля — молекулярные биологи, биохимики, физики, специалисты по структурному анализу и моделированию, биоинформатики.

— У всех нас разный взгляд на одну и ту же проблему, — говорит Анна. — Например, биологов интересует, к чему конкретно в живом организме приводят те или иные процессы, а химик ищет ответы на вопросы в основном на уровне химических реакций, на уровне атомов: почему именно так происходит, а не иначе? Это помогает увидеть одну и ту же проблему с разных сторон и попытаться найти причины, следствия, решения, получить необходимую информацию.

В лаборатории идеальная чистота, почти как в операционной. Многие процессы требуют стерильности, и молодых ученых очень радует, что на «Белковой фабрике» учтены эти требования и при этом максимально исключен ручной труд. Единственный в России робот для автоматической кристаллизации белковых образцов, автоматические системы для очистки белков, посудомоечные машины и автоклавы для стерилизации здорово экономят научное время.

Самое замечательное, по словам ученых, состоит в том, что в одном месте сконцентрирован весь процесс: генетическая информация поступает на «Белковую фабрику» из лаборатории геномного анализа, которая находится в этом же здании. Нарботанную биомассу, содержащую белок, передают на очистку биохимикам в соседнее помещение. Кристаллизация также проводится в лаборатории «Белковая фабрика», а получение пространственной структуры белка происходит на Курчатовском источнике синхротронного излучения.

— Все эти процессы очень сложны, — поясняют Анна и Евгений. — Для таких работ необходимы специальные знания и опыт. А здесь, в НБИКС-центре, работают люди, у которых багаж опыта в своей узкой области больше, чем у остальных, но при этом все хорошо понимают, чем занимаются другие. Это очень важно.

## Эксперимент — дело тонкое

Сразу после окончания ИНЕСНЭЖ (ныне НБИК-факультет МФТИ) в 2004 г. Алексей Велигжанин начал работать на Курчатовском источнике синхротронного излучения. Этот шаг был вполне закономерным началом его научной карьеры. Первый раз Алексей попал на синхротрон, будучи еще студентом третьего курса, во время работы над дипломом бакалавра. В 2011 г. он защитил кандидатскую диссертацию и сейчас продолжает исследования уже в новом статусе на станции структурного материаловедения КИСИ. Исследования, проводимые здесь, очень актуальны: коллектив занимается изучением многофункциональных наноструктурированных материалов. К ним относятся катализаторы, сенсоры, биологические металлокомплексы и пр.

Работа Алексея и его коллег посвящена исследованиям структуры катализаторов.

— Катализаторы широко используются в промышленных процессах — в нефтехимическом синтезе, в автомобилестроении, — говорит Алексей. — Например, для создания экологически чистого автомобиля необходимы катализаторы, которые бы участвовали в окислении веществ, входящих в состав выхлопных газов, — оксида углерода и метана. Эти вещества плохо сгорают в автомобильном двигателе.

Сегодня, по словам Алексея, практически во всех автомобилях используется блок катализатора, который уменьшает вредные выбросы. Платиновый катализатор взаимодействует с молекулами угарного газа (CO) и доокисляет их до углекислого газа (CO<sub>2</sub>), который наносит экологии значительно меньший вред и не так токсичен для человека. С помощью катализатора из выбросов автомобиля можно удалять также и метан, который, попадая в атмосферу, ускоряет эффект глобального потепления.





порошковой дифракции, локальную структуру вокруг выбранного атома с помощью рентгеновской спектроскопии, а также наноразмерные характеристики. В этом, кстати, и заключается уникальность станции структурного материаловедения.

— В России сейчас никто, кроме нас, не использует эти методы одновременно, тем более в условиях, близких к реальным условиям работы катализатора. А мы это можем сделать благодаря новому оборудованию. Получаемая на основе наших экспериментальных данных модель позволяет химикам синтезировать катализаторы направленно.

Параллельно с работой на КИСИ Алексей преподает в МФТИ, где присматривает будущих сотрудников.

— Мы пытаемся привлекать студентов для работы на перспективу, показываем им возможности для реализации в науке, наше уникальное оборудование, рассказываем, что у нас здесь молодой коллектив, интересная научная жизнь.

### «Горячая» точка

Еще в 1952 г. в Курчатовском институте были созданы «горячие» материаловедческие лаборатории, и сегодня ученые продолжают работать над созданием новых материалов для атомной энергетики. Современное уникальное оборудование, установленное в лаборатории структурных методов исследования материалов Курчатовского НБИКС-центра, позволяет изучать конструкционные материалы для атомной энергетики, используя сразу несколько методов.

Заведующий лабораторией Кирилл Приходько работает в Курчатовском институте еще со студенчества.

— В реакторном материаловедении мы применяем методы электронной микроскопии, — рассказывает он. — Сегодня в нашем распоряжении — самые современные приборы, которые в настоящий момент используются в этой области, поэтому есть возможность проводить комплексные исследования, видеть и изучать то, о чем раньше люди только догадывались.

По словам Кирилла Приходько, сейчас в России нет второго такого мощного комплекса, где был бы подобный набор аналитического оборудования в условиях «горячей» лаборатории, позволяющий исследовать любые реакторные материалы.

— Для нас это большой плюс: проблемы реакторного материаловедения мы можем решать оперативно, подходя к решению задачи с разных сторон, выделяя ключевые процессы, приводящие к эволюции свойств веществ в процессе эксплуатации, а также учитывая их при проектировании новых материалов ядерной энергетики.

Одно из важных направлений деятельности лаборатории в настоящее время — работы по увеличению срока службы корпусов водо-водяных реакторов до 60–80 лет (сейчас максимальный срок — 40 лет).

— С течением времени под действием облучения и при температурном воздействии структура материала меняется, — объясняет Приходько. — Сейчас с помощью уникального оборудования мы имеем возможность видеть

— Катализаторы представляют собой наночастицы платины, нанесенные на поддерживающую матрицу — оксид алюминия, который в свою очередь обеспечивает газопроницаемость. Вообще, разработка катализаторов — сложный процесс, — подчеркивает Алексей. — Направленный синтез катализаторов невозможен без точного знания их структуры. Поэтому на нашей станции мы проводим сложнейшие исследования структуры катализаторов, включающие несколько аспектов. Выясняем, в частности, как они взаимодействуют с молекулами реагентов, определяем их структурные элементы, реакцию при взаимодействии с посторонними примесями. Результаты исследований помогают нашим коллегам-химикам стремиться к созданию качественных и эффективных катализаторов.

По словам Алексея, сотрудники станции имеют возможность на одном и том же образце, в одних и тех же условиях, изучить его структуру разными методами: исследовать кристаллическую структуру образца с помощью



перераспределение элементов и изменение структуры на микро- и наноуровне, а значит, способны выработать концепцию восстановительных мероприятий для продления срока службы материала, учитывая вопросы безопасности.

### Разносторонние исследования

Ян Зубавичус — начальник лаборатории структурных исследований некристаллических материалов Курчатовского НБИКС-центра и одновременно преподаватель МФТИ. Он руководит группой, которая работает на одной из самых первых установок Курчатовского центра синхротронных исследований — станции структурного материаловедения.

— Мы проводим исследования с выраженным прикладным направлением — изучаем и диагностируем структуру функциональных материалов, — рассказывает Ян Зубавичус. — Наша специализация — исследование некристаллических наноструктурированных материалов. Это направление в последнее время активно развивается, поскольку такие материалы обладают уникальными химическими, электрофизическими, механическими свойствами — высокой химической активностью, прочностью, твердостью, износостойкостью, жаропрочностью. Они находят широкое применение в различных областях — от катализа и солнечной энергетики до авиационной. Их непросто исследовать, поскольку ни один конкретный метод не дает исчерпывающей информации о материале — сложно разобраться, какие структурные характеристики наиболее значимы для понимания его функциональных особенностей. Специализированный источник синхротронного излучения — наиболее эффективный инструмент диагностики для таких материалов. Более того, наша станция объединяет несколько групп рентгеновских методов — это дифракция, рентгеновская спектроскопия поглощения, рентгеновское малоугловое рассеяние. Благодаря такому



комплементарному подходу мы получаем исчерпывающую информацию об исследуемом материале, обширный набор структурных параметров и в результате можем выработать модели его строения. В итоге мы помогаем тем, кто создает новые материалы, их поиск идет не вслепую, методом проб и ошибок, что долго и дорого, а рационально, с опорой на определенную методическую базу и с учетом понимания структуры соединений.

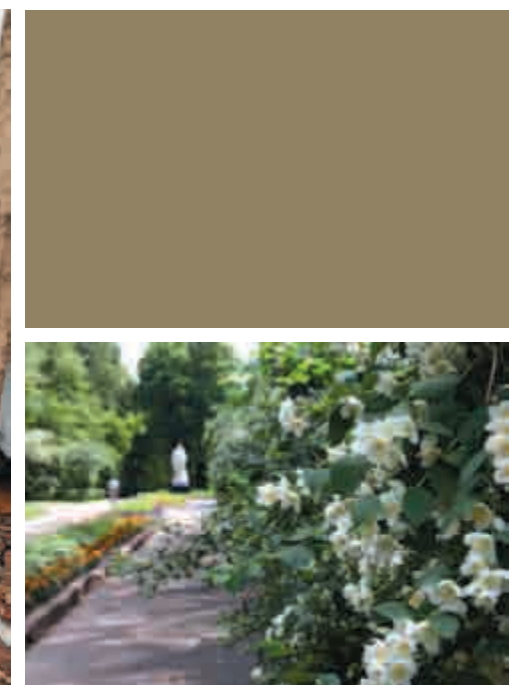
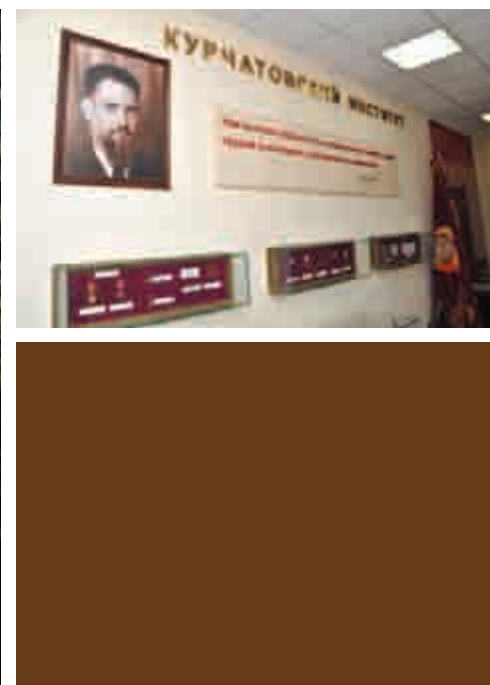
### С молодых ногтей

Михаил и Надежда Нагель связаны с Курчатовским институтом с самого детства. Они вместе учились в школе № 1189 им. И.В. Курчатова, затем поступили на факультет нанотехнологий и информатики МФТИ (ныне НБИКС-факультет). Во время студенчества они не только успели создать семью, но и приобщились к научной жизни в Курчатовском институте, где проходили преддипломную практику. Неоднократно были победителями конкурсов на соискание премии им. И.В. Курчатова, успевали преподавать в школе и работать в институте.

Сегодня Михаил Нагель — аспирант НИЦ «Курчатовский институт», Надежда Нагель — научный сотрудник ИЯР, один из самых активных организаторов молодежных конференций и научных школ. А недавно в семье молодых ученых появилась дочь.

Подготовила Олеся Пенкина





## Архив Курчатовского института хранит его историю

В Курчатовском институте действует отдел фондов научно-технической документации (архив центра). Здесь хранятся тысячи уникальных документов по основной деятельности института с 1943 г., научные отчеты и личные дела сотрудников. Архив постоянно пополняется. Десятки стеллажей с папками, в которых задокументирована более чем полувековая история института, занимают несколько больших комнат на цокольном этаже Главного здания.

Документы, хранящиеся здесь, вместе составляют летопись науки, начало которой было положено в Лаборатории № 2 АН СССР в далеком 1943 г.

## Научно-техническая библиотека

Центральная научно-техническая библиотека НИЦ «Курчатовский институт» — ровесница самого института. Практически одновременно с созданием Лаборатории № 2 в 1943 г. в ее составе был открыт библиотечный сектор. В 1960 г. сектор получил статус Центральной научно-технической библиотеки. Здесь комплектуются отечественные и зарубежные периодические издания и книги по всем научным направлениям института. Сегодня в фонде библиотеки — более 500 тыс. единиц хранения. Читальный зал оборудован компьютерами с выходом в Интернет.

Доступ к изданиям осуществляется через электронный каталог библиотеки, насчитывающий более 2 тыс. электронных адресов. База постоянно пополняется.

## Мемориальный дом-музей И.В. Курчатова

Дом для И.В. Курчатова был построен в 1946 г. по проекту советского архитектора И.В. Жолтовского. Уникальная городская усадьба середины XX в. великолепно сохранилась до наших дней. Вокруг дома по-прежнему яблоневый сад, под окнами до поздней осени цветут розы, крыльцо увито плющом. В этом доме Игорь Васильевич Курчатов жил с семьей с 1946 по 1960 гг.

Музей был открыт в 1970 г. Здание не перестраивалось, в нем полностью сохранена мемориальная обстановка. Телефоны правительственной связи у письменного стола, откинутая крышка рояля, уютные подушки на диване в гостиной — все выглядит так, словно хозяева вот-вот вернуться домой и займутся привычными делами.

## Музей НИЦ «Курчатовский институт»

Музей Курчатовского института открылся сравнительно недавно — в 2008 году. По прямому указанию М.В. Ковальчука были выделены средства, началось формирование экспозиции, был утвержден музейный совет, в который вошли ведущие ученые института, представители дирекции, специалисты подразделений.

Всего за несколько лет своей деятельности музей Курчатовского института стал современным центром популяризации науки. Музей посещают ученые из других научных организаций, аспиранты, студенты, школьники, представительные делегации из разных стран, руководители государственных органов и бизнес-структур.





## Оранжерея


В НИЦ «Курчатовский институт» есть собственная оранжерея, где выращивают цветы, кустарники и даже деревья. Отдел озеленения и благоустройства в Курчатовском институте существует уже долгие годы и включает в себя комплекс теплиц. Здесь выращивают не только привычные комнатные растения, но и можжевельник, гортензии, спирею — листопадный декоративный кустарник. В теплицах также можно увидеть реликтовое растение гинкго билоба и цветущие магнолии. Гордость оранжереи — южноафриканские кактусы и цикасы, древнейшие растения, внешне напоминающие пальмы, а также мандарины, лимоны, южный виноград и хрупкие вечнозеленые камелии.

## От станка до компьютера: печатно-издательский цех Курчатовского института

В 2008 г., когда в Курчатовском институте стартовал пилотный проект по созданию на его базе национального исследовательского центра, появилась необходимость выпуска современной печатной продукции самого широкого спектра и высокого качества.

В 2010 г. было принято решение о полной модернизации печатно-издательского цеха (ПИЦ) института. Были установлены современные печатные машины, комплекс цифровой печати. Сегодня ПИЦ расширил спектр выпускаемой полиграфической продукции от обычных бланков до полноцветных журналов, брошюр и книг. Поскольку появилась возможность реализовать многие креативные решения, в институте работает дизайн-группа.



 **очевидное  
невероятное**

 **В мире науки**

**ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ**

# **НАУЧНАЯ РОССИЯ**

**[www.scientificrussia.ru](http://www.scientificrussia.ru)**

**Для всех, кто живет  
на планете  
ЗЕМЛЯ!**