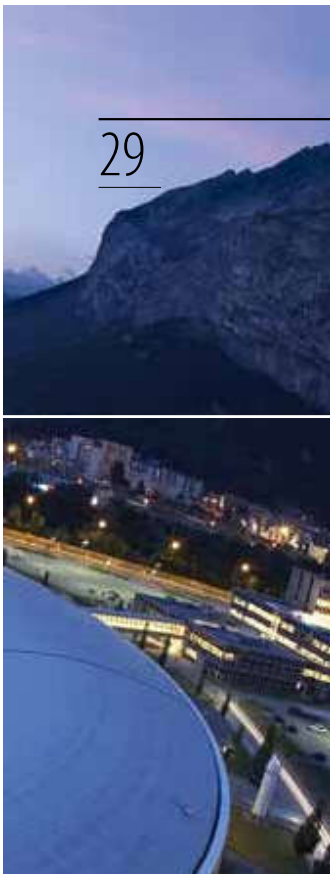


Александр Южанин
для «Вестника Атомпрома»

Термин Mega-science, который дословно переводится как «сверхнаука» или «сверхзнания», появился не так давно. Его используют применительно к масштабным исследовательским проектам, предполагающим международную кооперацию как при создании дорогостоящих экспериментальных установок, так и при их эксплуатации. Без подобных комплексов уже невозможен выход на принципиально новые рубежи – сначала в фундаментальных знаниях, а затем и в технологиях.

Уполномоченный по меганауке

Росатом традиционно представляет нашу страну в подобных глобальных наукоемких проектах. Не так давно Россия вошла в новый международный проект, реализуемый европейскими странами, став участником консорциума «Европейский центр синхротронного излучения» (ESRF). При этом Росатом планирует стать одним из поставщиков высокотехнологичной продукции для европейского синхротрона. Что важно отметить, госкорпорация будет предоставлять не свои атомные технологии, традиционно высоко котирующиеся в мире, а новую продукцию – линзы из бериллия, изготовленные специалистами ВНИИНМ. Это не только шаг к диверсификации продукции, поставляемой на мировой рынок, но и очередное подтверждение высокого научного потенциала предприятий Росатома, реализуемого в самых разных областях.



О роли Росатома в этом проекте, а также о перспективах, которые открываются перед учеными благодаря возможности проводить исследования на синхротроне, «Вестнику Атомпрома» рассказал главный эксперт ВНИИНМ **Александр Семёнов.**



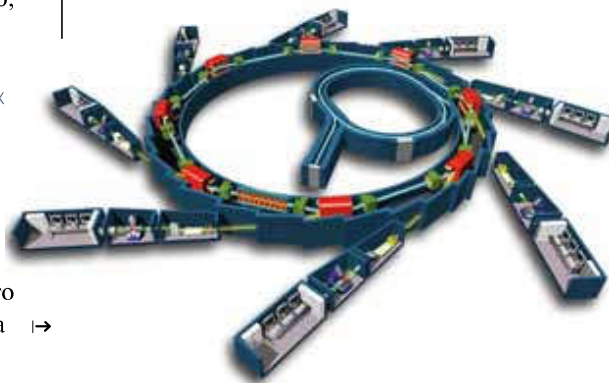
Расскажите вкратце о европейском центре синхротронного излучения, для чего он создан, какие задачи решает и что такое синхротрон?

Европейский центр синхротронного излучения (ESRF) находится в городе Гренобль на юго-западе Франции. Центр оборудован синхротроном 3-го поколения, обладающим высокими характеристиками по мощности синхротронного излучения, по его свойствам, по расходимости пучка. Наука движется в направлении исследования наноразмерных структур, и требования к источнику излучения всё более и более ужесточаются, поэтому синхротроны 3-го поколения пользуются большим спросом среди исследователей. К сожалению, в России синхротронов такого уровня пока нет.

Какую роль играет рентгеновское излучение в исследованиях наноразмерных структур?

Почему рентген нужен для исследователя? Видимый свет имеет длину волны от 400 до 700 нанометров, и когда мы хотим изучить объекты размером меньше микрона, то длина волны света просто не позволяет их увидеть, нужно использовать излучение, у которого длина волны намного меньше. Длина волны рентгена →

Росатом планирует стать одним из поставщиков высоко-технологичной продукции для европейского синхротрона.



К Российской Федерации отошло 6% от общей доли управляющей компании ESRF.

ЭТО НУЖНО ЗНАТЬ

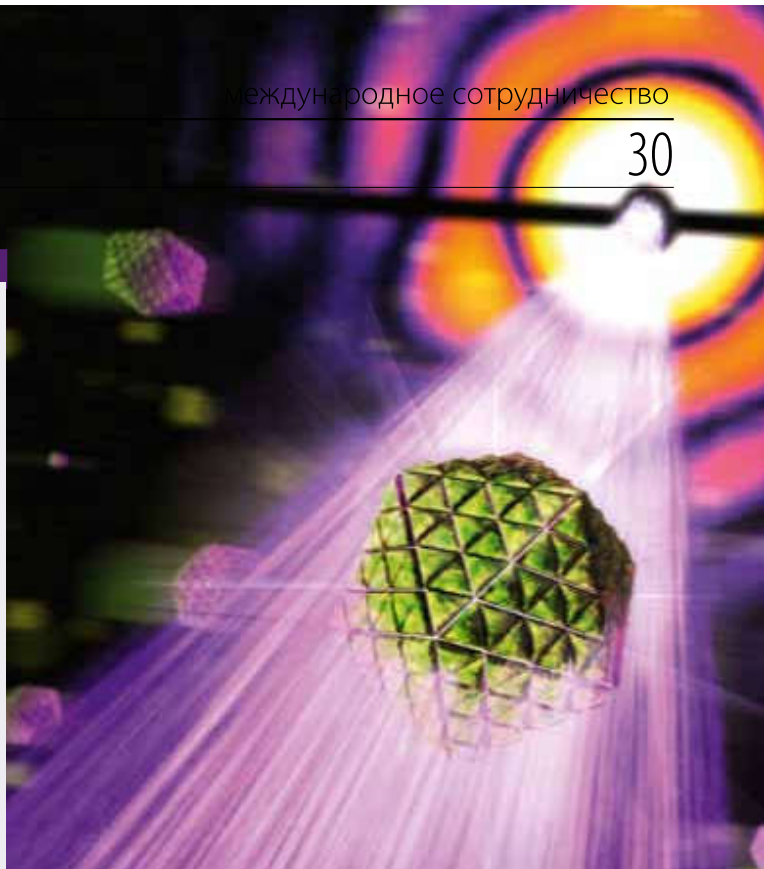
Что такое синхротрон?

Это ускоритель частиц, в данном случае электронов. В нем генерируется излучение, которое возникает при изменении траектории электрона. Синхротроны в первую очередь создаются для получения высокоинтенсивного рентгеновского излучения, которое невозможно получить никакими другими устройствами.

Физик Вильгельм Рентген открыл свои знаменитые лучи, заметив их появление при торможении электронов медной пластиной. Но электроны можно тормозить и другими способами, например магнитом. Если мощным магнитом отклонить электрон, изменив его траекторию, выделится энергия в виде квантов излучения широкого диапазона, включающего и видимый свет, и радиоволны.

Сначала синхротроны были предназначены для изучения взаимодействий частиц, и ценность представлял сам пучок электронов, а излучение скорее мешало исследователям. Но потом оказалось, что это побочное излучение обладает собственной ценностью. Синхротронное излучение – это рентгеновское излучение высокой интенсивности, похожее на лазер, при этом когерентное, когда все кванты имеют одинаковую фазу.

Благодаря синхротрону можно наблюдать, как работает клетка в живом организме, не нарушая его жизнедеятельности.

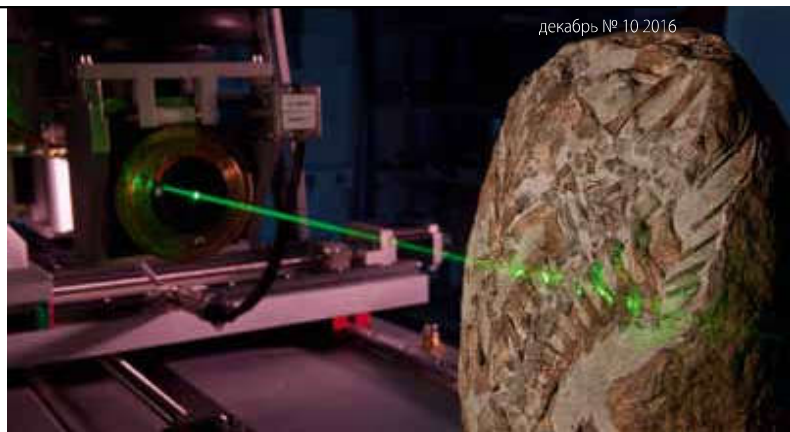
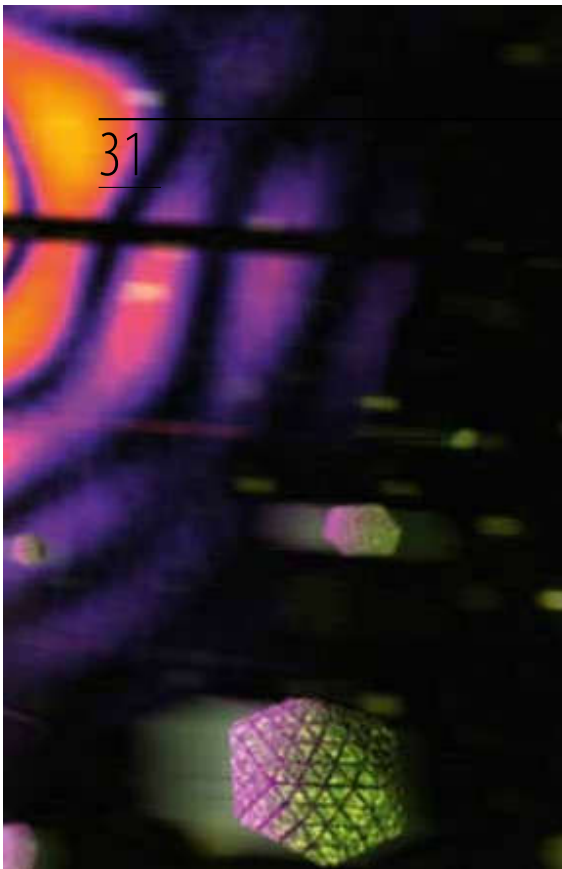


может достигать единиц ангстремов и позволяет изучить объекты нанометрового диапазона, и даже менее. Однако рентген очень сложно сфокусировать и управлять им – это отдельная наука! Это излучение ведет себя очень своеобразно, и еще 20–30 лет назад считалось, что сфокусировать рентгеновское излучение по тому же принципу, что и видимый свет, невозможно, так как коэффициенты преломления рентгеновского излучения в любой среде очень близки к единице. Всё поменялось 20 лет назад, когда наш соотечественник Анатолий Снегирев, работающий сейчас в Балтийском университете им. И. Канта, провел свой судьбоносный эксперимент, показавший, что даже это небольшое отклонение от единицы коэффициента преломления может быть использовано для фокусировки излучения.

Первый эксперимент был сделан очень изящно. В алюминиевой пластине высокоточным станком просверлили параллельно друг другу ряд отверстий, пропустив сквозь них пучок синхротронного излучения, что дало совершенно четкую фокусировку рентгеновского излучения по одной координате! Результат был опубликован в 1996 году и произвел своего рода революцию в научном мире. В этом году Анатолий Снегирев с коллегами отмечает юбилей – 20-летие этого совершенно нового направления рентгеновской оптики.

Почему линзы для синхротронов изготавливают именно из бериллия?

У рентгеновского излучения есть еще одна особенность: для него тяжелые элементы представляют довольно серьезные препятствия, а легкие элементы, несмотря на то что это может быть даже металл, наоборот, прозрачные. Эта зависимость растет по мере



20 лет назад наш соотечественник Анатолий Снегирев произвёл революцию в научном мире, доказав, что рентгеновское излучение может быть сфокусировано, как и видимый свет.



Синхротрон позволяет получить подробную 3D-модель микроскопических и даже недоступных объектов.

продвижения вглубь таблицы элементов Менделеева. Когда мы в самом начале таблицы, первые элементы — это водород, гелий, литий, бериллий... Так вот, оказалось, что самые первые из металлов в таблице — литий и бериллий — для рентгена практически прозрачны. Даже алюминий, который не назовешь тяжелым элементом, в десятки раз менее прозрачен для рентгеновского излучения, чем бериллий. А бериллий хорош ещё и тем, что в отличие от лития, он не взаимодействует с кислородом при обычных условиях. То есть из него можно изготавливать изделия, линзы, окна для вывода рентгеновского излучения, что широко используется во всех сферах рентгеновской техники. И, как оказалось, это очень хороший материал для изготовления линз!

Конструкция линз для фокусировки рентгеновского излучения тоже имеет свои особенности. Для фокусировки видимого света изготавливаются двояковыпуклые линзы, так как у световых волн коэффициент преломления больше единицы. У рентгеновского излучения коэффициент преломления для всех материалов меньше единицы, поэтому линзы нужны двояковогнутые. Они представляют собой две параболические выемки, причем микроскопические, поскольку нужны очень малые радиусы кривизны этих устройств. При этом для фокусировки одной линзы недостаточно, используются несколько десятков линз, расположенных соосно, одна за другой. Фокусные расстояния могут быть достаточно большие: метры, даже десятки метров. Как только мы получили возможность фокусировать рентгеновское излучение, информативность исследований с помощью синхротронов резко возросла. Это всё равно что пользоваться микроскопом или телескопом — примерно тот же эффект достигается и при использовании рентгеновской оптики в синхротронных исследованиях.

Оказалось, бериллий — очень хороший материал для изготовления линз!

Как только мы получили возможность фокусировать рентгеновское излучение, информативность исследований с помощью синхротронов резко возросла.



Как знания, полученные благодаря использованию синхротронов, могут быть воплощены в жизнь практически?

Несколько нобелевских лауреатов получили премии благодаря своим исследованиям на ESRF. Это биологи, физики, те, кому нужно заглянуть вглубь конкретного объекта на уровне нанометров и исследовать явления, которые там происходят. Например, вы можете наблюдать, как работает клетка в живом организме, не убивая этот организм, не вторгаясь и не нарушая его жизнедеятельности. Это, в свою очередь, открывает большие возможности для развития медицины, биологии, фундаментальных исследований в области физики.

Какие ещё исследования подвластны синхротрону?

Синхротрон может решать и прикладные задачи, так как позволяет получить подробную 3D-модель микроскопических объектов. Приведу очень наглядный и красивый пример! В янтаре часто можно найти насекомых, попавших в смолу миллионы лет назад. Поместив янтарь с мушкой в пучок излучения, мы можем получить подробную увеличенную 3D-модель. По способности поглощать рентгеновское излучение мы можем построить не просто внешние очертания насекомого, но и его внутреннее строение! А с помощью современных аддитивных технологий 3D-принтера эту мушку можно сделать любого размера! Кстати, благодаря синхротрону неожиданно удалось обнаружить, что мутные янтарики, которые раньше не интересовали ни ювелиров, не исследователей, чаще имеют подобные включения. В результате потенциальных объектов для исследования оказалось намного больше, чем считалось. Теперь этот мутный янтарь становится ценнейшим объектом для исследований зоологов, позволяющим заглянуть на миллионы лет назад. Можно сделать модель мушки, разослать её в электронном виде всем желающим, и её будут изучать на разных концах планеты. Это и есть прикладное применение синхротронного излучения. Если говорить о медицине, то здесь есть аналог — компьютерная томография. Маркетологи убрали отсюда слово «рентген», чтобы не пугать пациентов. Тем не менее это рентгеновская томография, но более простого уровня. Там, как правило, задача другая: нужно, чтобы излучение было и некогерентным, и немного расходящимся, чтобы пучок был шире. Потому что пучки современных синхротронов очень маленькие, я бы даже сказал, слишком маленькие для решения простых задач.

Из внебюджетных средств нашего предприятия мы оплатили услуги синхротрона — 24 часа исследовательского времени.



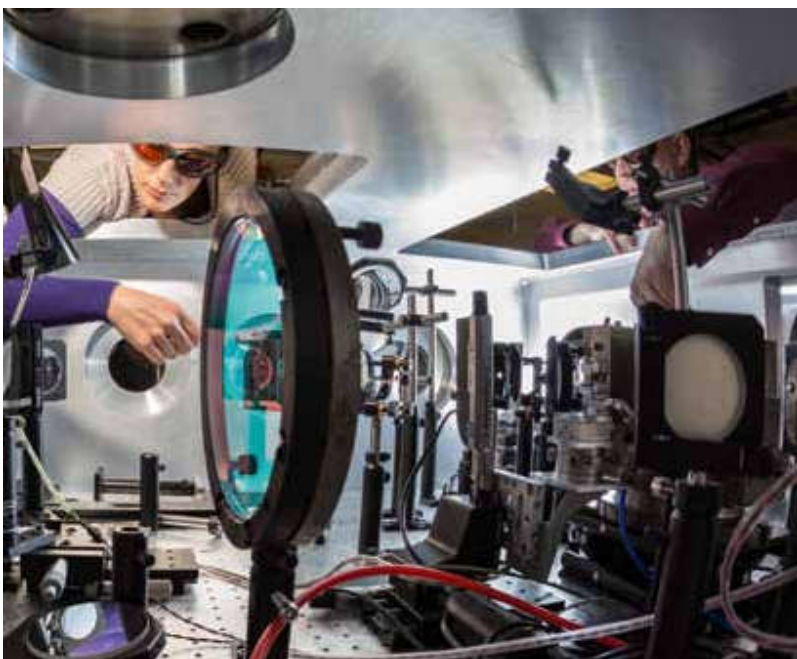
Кто выступил инициатором вступления России в европейский консорциум ESRF?

У нас много научных институтов и ученых мирового уровня, которым требуется синхротронное излучение для экспериментов и опытов. Это и Курчатовский институт во главе с Михаилом Валентиновичем Ковальчуком, Институт кристаллографии, другие ведущие исследовательские центры и предприятия АН, они поддержали эту инициативу. В результате Россия вошла в ESRF, и наши исследователи получили возможность заявляться и получать право проводить исследования на этом синхротроне.

А как это происходит процессуально, например, кто-то хочет изучить ту же самую мушку в янтаре, что ему необходимо сделать: отправить заявку в ESRF и забронировать определенную дату и время?

Россия, как участник проекта, имеет свою квоту — установленное время, в течение которого российские ученые могут проводить исследования на синхротроне. На эту квоту Минобрнауки выделяет гранты, ученые подают заявки, затем проводится конкурс, проходит экспертиза, отбираются самые лучшие заявки, и их авторам дается право на проведение исследований на ESRF.

Мы планируем выходить на российский и зарубежный рынки. Оптика, подобная нашей, в мире в дефиците, и наша задача не обогнать конкурента, а, скорее, заполнить нишу, существующую на рынке.



По итогам испытаний наших линз на ESRF мы убедились, что наша продукция приблизилась по своим качествам к мировым аналогам.

Есть второй вариант, по которому пошли мы, из внебюджетных средств нашего предприятия оплатили услуги синхротрона — 24 часа исследовательского времени, и за эти сутки (от и до, до последней секунды) с 7 по 8 ноября мы провели исследование нашей продукции, которую было необходимо квалифицировать. Перед нами стояла прикладная задача — проверить, как работает наша оптика — линзы. В прошлом году мы тестировали их на синхротроне в Курчатовском институте, и исследования показали, что линзы способны фокусировать синхротронное излучение. Тем не менее возможности Курчатовского синхротрона ограничены, поэтому мы хотели ужесточить условия испытаний и провести их на современном синхротроне третьего поколения. Мы заключили договор на проведение такой квалификации на ESRF и по итогам испытаний убедились, что наша продукция за этот год стала значительно лучше, приблизившись к мировым аналогам по размерам фокусного пятна и по качеству фокусировки.

У нас было порядка сотни разных линз, мы их по-разному компоновали, исследовали, смотрели фокусировку, исследовали размер фокусного пятна, нам предоставляли различные устройства для проведения эксперимента. По итогам квалификационных испытаний ESRF должен предоставить нам документ, где будет дано описание проведенных испытаний и подтверждена квалификация нашей продукции. На основании этих документов в дальнейшем мы сможем стать поставщиком линз для ESRF и других синхротронов, работающих в Европе.

Есть ли отличия линз, произведенных ВНИИНМ от устройств, которые сейчас используются ESRF?

На рынке линз сложилась уникальная ситуация. Сегодня единственный официальный производитель линз — это немец Бруно Ленгелер, он живет в Аахене, ему уже под 80 лет. Кроме него, в мире нет производителей. Многие пытались сделать линзы подобного качества, но никто так и не смог. Изготовление линз требует высокоточной механики и обладания технологиями обращения с бериллием. Бериллий — это очень капризный материал, причем очень токсичный. Просто так с ним работать нельзя. ВНИИНМ имеет более чем полувекковой опыт работы с этим металлом. →



За линзами к Ленгелеру стоят в очереди много лет. К тому же есть опасения, что он бросит производство и уйдет на пенсию. Но нам его секреты не нужны! Мы сами имеем все компетенции.

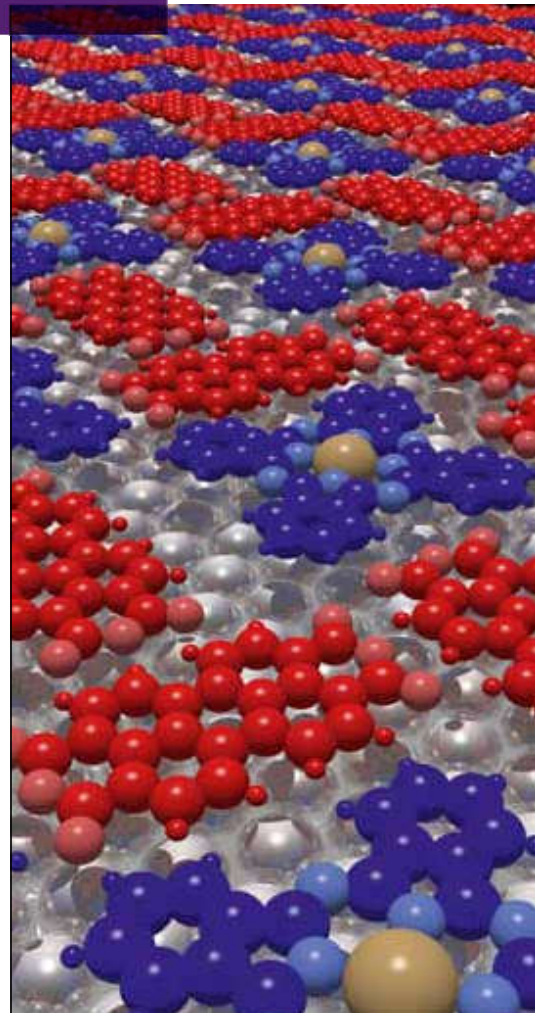


У нас очень высокие компетенции как по созданию новых сортов бериллия, так и по изготовлению из него изделий. Мы не новички и начинали работу над этим проектом с очень хороших стартовых условий. При этом мы имеем необходимое оборудование, закупленное в рамках других проектов, которое мы научились использовать для изготовления линз. Для работы мы привлекли еще одно предприятие Росатома – ПО «Старт», расположенное в городе Заречном Пензенской области, и с их помощью изготовили пресс-оснастку для производства линз, которая показала достаточно хорошие характеристики. Положительную роль играет и кооперация с Балтийским федеральным университетом, специализирующемся на линзах из алюминия. Нашу технологическую базу по работе с бериллием мы планируем объединить с их компетенциями в области линз из алюминия, они тоже нужны, но для другого диапазона энергии, более жесткого рентгена. В перспективе мы планируем вместе выходить на российский и зарубежный рынки. В мире подобная оптика в дефиците, многим её не хватает, и наша задача не обогнать конкурента, а, скорее, заполнить нишу, существующую на рынке. За линзами к Ленгелеру стоят в очереди много лет. К тому же есть опасения, что он бросит производство и уйдет на пенсию, и тогда синхротроны во всём мире окажутся без оптики.

Неужели всего один человек обеспечивает весь мир оптикой для синхротронов?!

В том-то и дело! Он работает в одиночку, нет какого-то завода или предприятия, всё производство расположено в его собственном доме. Там он работает с бериллием, и, похоже, с нарушением немецкого законодательства, но на свою частную территорию не пускает ни одного постороннего человека и никто не может ему никаких претензий предъявить. Он ученый с мировым именем, у него есть свои собственные исследовательские работы. Он преподавал в свое время в Аахенском университете, может быть, преподает и сейчас. Он ученый с жилкой предпринимателя и очень сдержан, когда у него пытаются добыть информацию. Он

Один человек в мире обеспечивает весь мир оптикой для синхротронов...



Ему 80 лет, у него нет ни завода, ни предприятия, всё производство расположено в его собственном доме...



Благодаря синхротрону мы обретаем новый вид «зрения», орган чувств на уровне нанометра.

СПРАВКА

European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) — исследовательский ускорительный комплекс, источник синхротронного излучения третьего поколения, расположенный в Гренобле, Франция. Комплекс построен в 1994 году совместными усилиями 19 стран (18 европейских стран — Австрия, Бельгия, Венгрия, Великобритания, Германия, Дания, Испания, Италия, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Словакия, Финляндия, Франция, Чехия, Швейцария, Швеция — и Израиль. ESRF — самый высокоэнергетичный в Европе синхротрон среди источников синхротронного излучения (выше энергия только у APS в США и SPring-8 в Японии).



Самостоятельно арендовать сутки работы на синхротроне может любая организация, вне зависимости, является ли она представителем страны — участника ESRF или нет.

не хочет выдавать свои секреты. Может быть, он работает совсем один, может, у него есть какие-то помощники, но тем не менее у всех пользователей синхротронов нарастает беспокойство, связанное с возможным прекращением производства этих линз. Ведь если это произойдет, то станет настоящей катастрофой для исследователей.

Но нам его секреты не нужны! Мы сами имеем все компетенции, потому что работали над очень сложными проектами и решали задачи подобного масштаба.

Какие еще российские институты пользуются услугами Европейского синхротронного центра в рамках квоты России как страны — участника консорциума ESRF?

Россия полностью выбирает свою квоту, но на неё много претендентов. Помимо нас есть ещё много организаций, заинтересованных в фундаментальных исследованиях. У них зачастую нет бюджетных средств, чтобы позволить себе оплатить аренду синхротрона. Потребность в проведении фундаменталь-

ных научных экспериментов есть и у академических вузов. Как правило, такие организации и получают гранты в рамках российской квоты в ESRF. Мы также несколько раз подавали заявки на гранты, проходили конкурсы, но нас оставляли в стороне. Может быть, причина отказа отчасти в прикладных задачах наших исследований. В итоге нам пришлось самостоятельно арендовать сутки работы на синхротроне для проведения своих исследований. Это, кстати, может сделать любая организация, вне зависимости, является ли она представителем страны — участника ESRF или нет.

Вернемся к России, какова перспектива строительства у нас синхротронного центра, подобного по классу ESRF?

На состоявшемся в ноябре этого года Первом все-российском кристаллографическом конгрессе одним из обсуждаемых вопросов была перспектива создания собственного российского центра синхротронного излучения современного уровня, причем уже не 3-го, а 4-го поколения. Он должен отвечать современным задачам, стоящим перед нашими исследователями. Президент НИЦ «Курчатовский институт» Михаил Валентинович Ковальчук на конгрессе отметил, что создание такого центра является стратегической задачей для нашего государства, поскольку независимое от других стран развитие современных отечественных научных направлений невозможно без синхротронной метрологии наноразмерных объектов. Такой центр планируется создавать в Гатчине, под Санкт-Петербургом, где также готовится к запуску уникальный высокопоточный исследовательский реактор «Пик». Если объединить их друг с другом, то получится очень хороший тандем. Я не могу сказать, насколько идея создания российского синхротронного центра близка к практической реализации. Но то, что сдвиги в этом направлении есть, я слышал уже неоднократно из разных авторитетных источников. →

Какие дополнительные возможности дает совмещение синхротрона с исследовательским реактором?

Сейчас такой уникальный комплекс есть в Курчатовском институте, где исследовательский реактор ИР-8 соседствует с Курчатовским источником синхротронного излучения. В новом центре технические показатели и реактора, и синхротрона будут значительно выше. Можно сказать, что благодаря синхротрону мы обретаем новый вид «зрения», орган чувств на уровне нанометра. Вместе с тем некоторые важные задачи, например исследование магнитной структуры материалов, требуют использования нейтронных пучков.

А исследовательский ядерный нейтронный реактор ПИК как раз даст нам такую возможность.

На прошедшем кристаллографическом конгрессе прозвучало много интересных докладов, посвященных созданию отечественного синхротрона 4-го поколения в Гатчине. У нас в России, к счастью, имеется немало компетенций для этого. В частности, современные устройства и комплектующие активно поставляются на большинство синхротронов мира новосибирским Институтом ядерной физики имени Г.И. Будкера. Так что предпосылки создания есть, будем ждать политического решения.

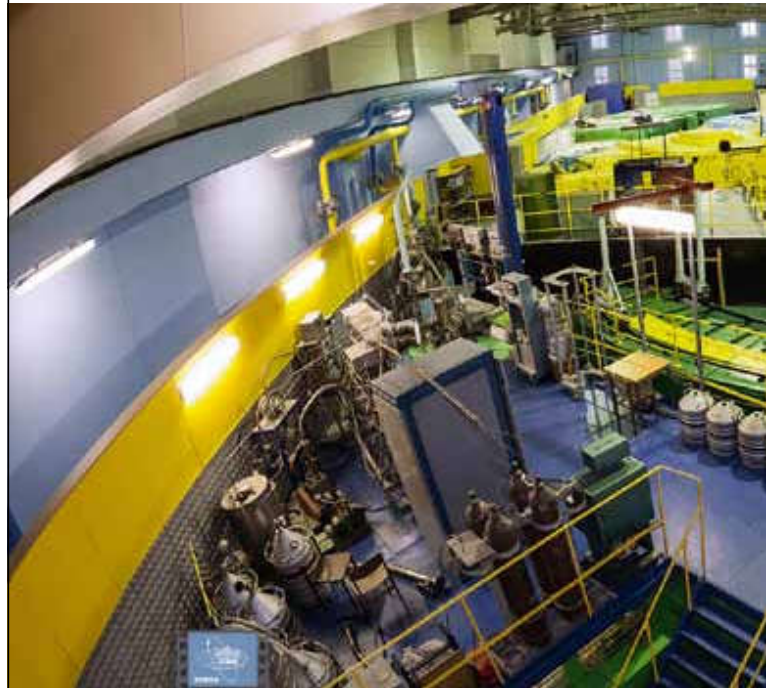
Какую еще продукцию помимо линз может предложить ВНИИНМ в рамках проекта ESRF?

Смотрите, бериллий всё-таки материал уникальный, и с ним работают немногие. Сейчас у нас есть опытное производство окон для вывода рентгеновского излучения. Окно в данном случае — это не отверстие, а бериллиевая фольга, которая отделяет вакуумный объем от атмосферы, но при этом выпускает максимально рентгеновское излучение. Важно, чтобы это окно не искажало изображение. Если бериллий недостаточно чистый или имеет какие-либо включения, то пучок будет нести информацию о материале, с которым контактировал, проходя сквозь окно. Это всё равно что мы на объектив фотоаппарата натянем мутную полиэтиленовую пленку, после чего качество фотографии станет ужасным. Поэтому для минимизации искажения нам нужны самые чистые сорта бериллия и обязательно шлифовка и полировка поверхности. Мы умеем бериллий прокатывать, мы можем полировать, шлифовать, вырезать окна самой причудливой формы и припаивать к фланцам из различных материалов. Вот эти окна для синхротронов мы также планируем поставлять. В частности, в прошлом году одно окно мы поставили на ESRF. С другими организациями, как в России, так и за рубежом, договора уже подписаны, и мы начали поставлять туда нашу продукцию.

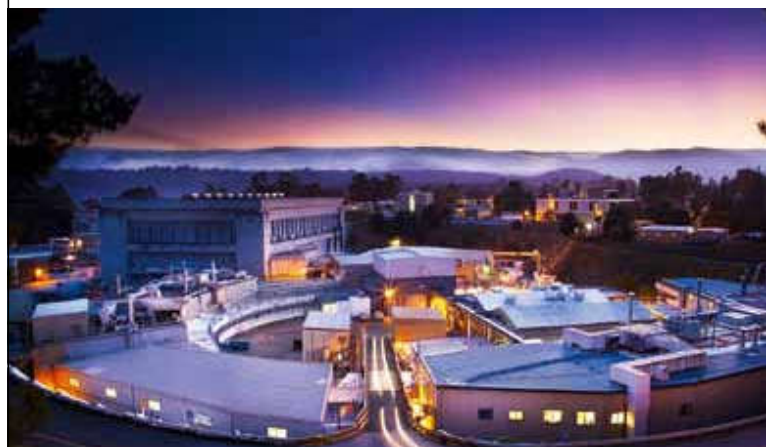
Какое количество синхротронов работает сегодня во всём мире?

Может, с полсотни наберется или даже больше. Но синхротрон синхротрону рознь. Синхротрон 3-го поколения на порядок дороже в плане создания, но даже и та-

Если наша продукция выйдет на рынок в больших объемах, это приведёт к революционному скачку знаний в разных областях науки.



Мы умеем бериллий прокатывать, мы можем полировать, шлифовать, вырезать окна самой причудливой формы.



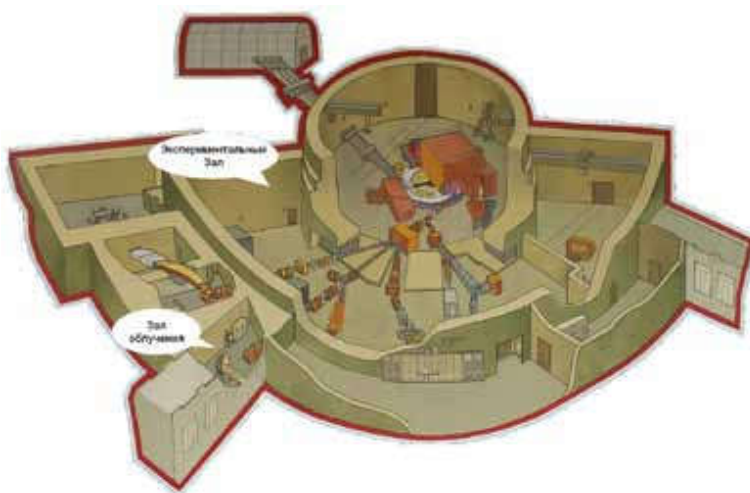
России необходим собственный центр синхротронного излучения, причем уже не 3-го, а 4-го поколения!



ких синхротронов достаточно много. Могу сказать, что в Европе они есть во Франции, в Швеции, в Италии, собираются строить в Испании. Есть свой синхротрон и у Бразилии. И не по одному, а по несколько на государство, как, например, в США, Швеции и Германии.

В чем разница между синхротроном 2-го и 3-го поколения?

Это как разница между фонариком и лазерной указкой. Вопрос даже не в мощности, а в качестве излучения. Лазер отличается от лампочки небольшой расходимостью пучка и высокой интенсивностью. У фонарика свет рассеивается, и его луч не достигнет даже до соседнего дома, а лазером можно добить до Луны! Хорошая аналогия, да? Разница просто в масштабах. Когда траектория электрона у пучка составляет сотни метров или километры, получается совершенно разный пучок. Пучок излучения у синхротронов 3-го поколения очень узкий и нерасходящийся, в сочетании с высокой интенсивностью это дает принципиально новые исследовательские возможности по сравнению с синхротронами предыдущих поколений.



А вы проводили оценку рынка линз, какова потребность в этих устройствах? На какие рынки сбыта вы ориентируетесь в первую очередь – на Европу, на Америку?

Америку мы рассматривали меньше всего. Ориентируемся на Европу, на Азию, даже всерьёз рассматривали возможность выхода на Иран, у которого свой интерес есть в этом вопросе. Из года в год это направление будет только развиваться. Маркетинговые исследования рынка линз проводил Росбизнесконсалтинг в 2013 году, и наши маркетологи в прошлом году подтвердили, что этот рынок не насыщен, а спрос на этот вид продукции в ближайшие годы должен существенно возрасти. Это тысячи единиц продукции, востребованной мировыми синхротронами. Мы будем выходить на рынок постепенно. Для завоевания значительной части рынка, возможно, потребуется привлечение серийных предприятий Росатома.

Здесь еще есть очень важный нюанс, не связанный с получением прибыли. В настоящее время многие исследователи не могут себе позволить проводить исследования на синхротронах. Одни — из-за дефицита оптики, так как её производство ограничено, другие — из-за её высокой стоимости. Когда эти линзы станут более доступны, то гораздо больше ученых по всему миру смогут проводить свои исследования на синхротронах. Если наша продукция выйдет на рынок в больших объемах, то это стимулирует развитие синхротронных исследований во всём мире и, как следствие, приведёт к революционному скачку знаний в разных областях науки. ©