

Сибирское синхротронное излучение

В июле Владимир Путин подписал указ о мерах по развитию синхротронно-нейтронных исследований в России. За ближайшие три месяца экспертному сообществу под эгидой Минобрнауки нужно разработать федеральную научно-техническую программу развития синхротронно-нейтронных исследований на 2019–2027 годы.

Инфраструктура для синхротронных исследований будет включать источник СИ четвертого поколения в Новосибирске, синхротрон на Дальнем Востоке (остров Русский) и модернизированный Курчатовский источник синхротронного излучения в Москве. Концепция новосибирского Центра коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов» (ЦКП «СКИФ») уже готова. Она включает три задачи: обеспечить бесперебойное пучковое время для пользователей из России и других стран, создать станции для исследований и разработать систему отбора заявок пользователей. За создание ускорительной части отвечает Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, а за организацию всего комплекса работ, в том числе строительство станций для пользователей, — Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.

Вредный эффект стал счастливой находкой

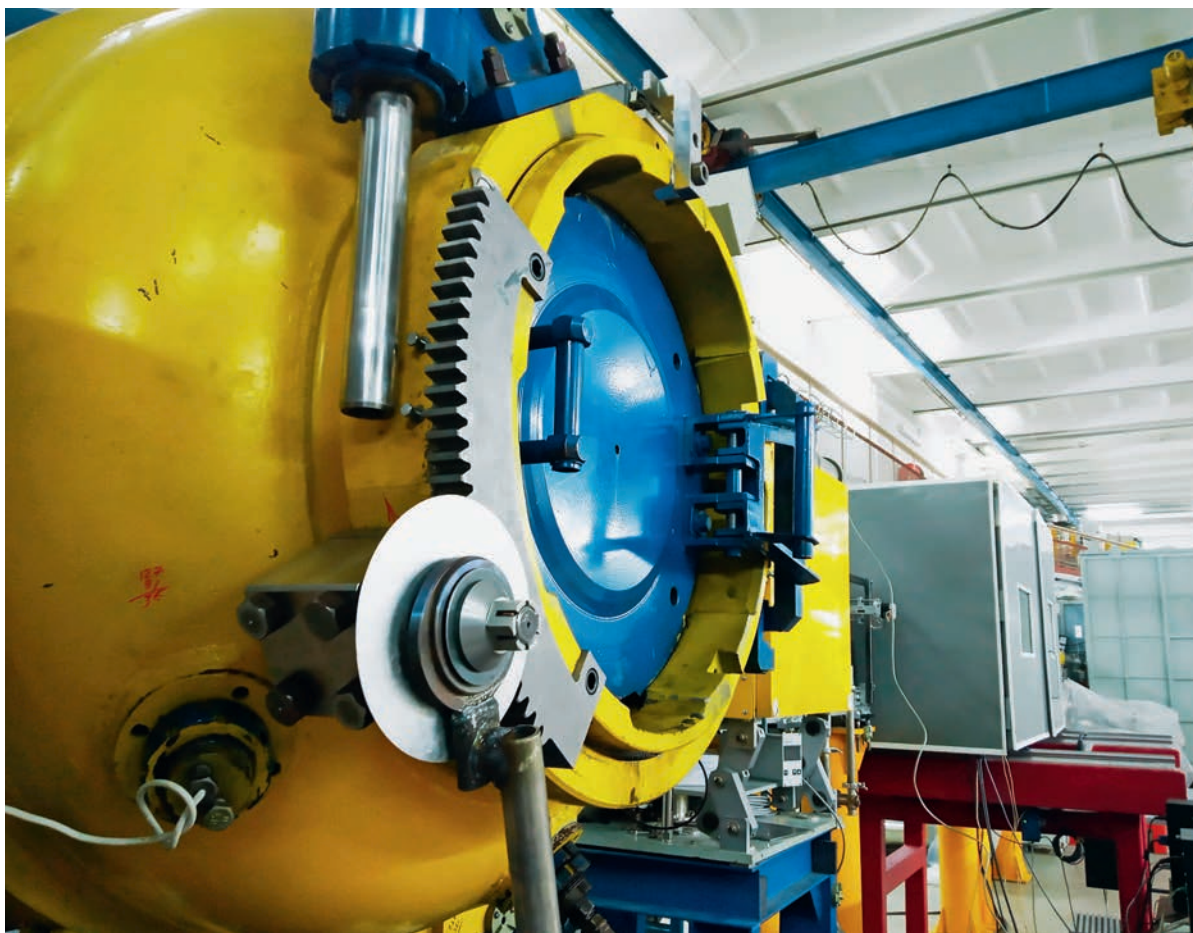
Потери энергии на кольцевых электронных или позитронных ускорителях долгое время считались неизбежным злом. С одной стороны, пучки электронов и позитронов, которые сталкиваются в кольцевых ускорителях (коллайдерах), должны быть максимально плотными и иметь минимальное поперечное сечение (эмиттанс). Высокая плотность пучков дает возможность точнее идентифицировать частицы, которые создаются при столкновении пучков. Но чем выше была энергия и чем плотнее был пучок в кольцевом ускорителе, тем сильнее частицы одного заряда сталкивались друг с другом — и разлетались. Чтобы победить эти нежелательные эффекты, ученые придумали целый ряд технологий и приемов, например, охлаждение пучка, которое сегодня повсеместно используется в ускорительном оборудовании. В ходе продолжительной борьбы выяснилось, что излучение, порождаемое движущимся в магнитном поле пучком заряженных электронов, способно творить чудеса. С начала 60-х годов началось использование этого — синхротронного — излучения (СИ) в экспериментах, сначала в атомной спектроскопии, а вскоре и в физике твердого тела. Побочный продукт очень быстро стал востребованным, и начиная с источников второго поколения это оборудование создавалось целенаправленно.

Синхротронное излучение образуется в поворотных магнитах, установленных в вакуумной камере, внутри которой с почти световой скоростью движется узконаправленный пучок электронов. Во время поворота — под воздействием магнитного поля — летящие электроны испускают по касательной к орбите пучки фотонов в широком спектре, максимум которого приходится на рентгеновский диапазон. Для пользовательской станции обычно нужны фотоны строго определенной длины волны, то есть излучение должно быть монохроматическим. Эту задачу решает специальный рентгенооптический прибор — монохроматор.

Синхротронный источник Нобелевских премий

Сегодня самые популярные направления исследований на СИ — это биология и медицина, в частности, создание новых фармацевтических препаратов. За открытия, сделанные в процессе изучения белковых кристаллических структур на источниках СИ, с 1997 года присуждено уже семь Нобелевских премий. Нобелевские премии по химии в последние годы зачастую получают именно молекулярные биологи — специалисты в области низкотемпературной белковой кристаллографии, имеющие к химии лишь косвенное отношение.

«Просвечивать» рентгеновским пучком образцы, чтобы определять их состав и атомную структуру, требуется абсолютно во всех научных направлениях: в химии, в материаловедении, в геологии, в физике поверхностей (полупроводников), в физике взрыва и даже в археологии. Причем в археологии этот метод изучения особенно ценен, поскольку он не разрушает исследуемый предмет. Кроме научных организаций, пользователями станций СИ обычно являются наукоемкие производства, в частности, вся фармацевтическая промышленность, производители оборудования и машиностроения. Сейчас в мире работает более 40 накопителей частиц — источников СИ. Они различаются на поколения по ширине поперечного сечения пучка частиц —



— Взрывная камера в бункере ВЭПП-4.

Эмиттанс — важная численная характеристика пучка ускоренных частиц. Строгое его определение: объем фазового пространства, который занят пучком (то есть это произведение объема пучка в пространстве координат на его объем в пространстве импульсов (или скоростей)). Малому эмиттансу соответствует узкий пучок с малым разбросом по скоростям.

эмиттансу, от которого напрямую зависит яркость, а следовательно, и качество получаемых изображений или спектров. Чем меньше сечение, тем выше яркость. «Каждому новому поколению источников СИ присущ все меньший эмиттанс, — рассказал заместитель директора Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН Евгений Левичев. — К первому поколению относят накопители с эмиттансом примерно 300–500 нанометров (нм), исходно предназначенные для физики элементарных частиц. Второе поколение — это уже специализированные установки для экспериментов с СИ и с эмиттансом около 20–100 нм. Установки третьего поколения, наиболее многочисленные и совершенные, обладают эмиттансом от 1 до 10 нм и производят пучки рентгеновского излучения высокой яркости».

Лучше меньше, да ярче

Наибольшей яркости излучения ученые добиваются, уменьшая эмиттанс — благодаря сочетанию узкой прецизионной вакуумной камеры и более точных структур магнитов, а также благодаря новым возможностям программных продуктов, позволяющих производить более точные расчеты магнитных полей и динамики пучка. Предел величины эмиттанса пучка, к которому сейчас стремятся все передовые лаборатории, стал дифракционным, то есть по порядку величины он совпадает с длиной волны фотона (1 пикометр, или 0,001 нм).

«Если у кого-то в мире получится создать источник СИ с размерами электронного пучка, равными длине волны излучаемых фотонов, и добиться, чтобы они были когерентны (совпадали по фазе), как, например, у лазерного излучения в световом диапазоне, то изображение изучаемого объекта в рентгеновском излучении станет трехмерным, голографическим», — поясняет Евгений Левичев.