

«Близ Серпухова успешно осуществлен пуск протонного синхротрона ИФВЭ Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР. Новый отечественный ускоритель по энергии частиц в два с лишним раза превосходит крупнейшие зарубежные установки в Брукхейвене (США) и *CERN* (Европейской организации по ядерным исследованиям)». Это сообщение ТАСС облетело мир 14 октября 1967 г. Самый мощный в мире ускоритель протонов с энергией 70 ГэВ начал работать в подмосковном Протвине.

Ускорители прогресса

Фундаментальные исследования в области физики высоких энергий всегда были тесно связаны с работами по освоению атомной энергии. Поэтому И.В. Курчатов — руководитель Лаборатории № 2, стоявшей у истоков советского атомного проекта, — всячески способствовал исследованиям на ускорителях и развивал их. Еще в начале работ над созданием советской атомной бомбы из Лаборатории № 2 выделилась Лаборатория № 3, которая занималась под руководством А.И. Алиханова созданием тяжеловодного реактора. Позднее лаборатория стала Институтом теоретической и экспериментальной физики — ИТЭФ, где начало активно развиваться направление физики ускорителей. Возникла необходимость выделить это направление на отдельную площадку. И.В. Курчатов был одним из тех, кто активно поддержал идею сооружения под Серпуховом протонного суперускорителя на энергию 70 ГэВ, предназначенного для физических исследований. При выборе основания под ускоритель были обследованы около 40 площадок в разных концах страны. В результате выбор пал на площадку под Серпуховом, расположенную на очень ровной и твердой скальной породе. В январе 1960 г. в Протвине развернулась масштабная стройка крупнейшего на тот момент в мире ускорителя. Во время строительства применялись самые новые технологии. По воспоминаниям инженеров, точность расчетов и работ при прокладке кольца была сравнима с расчетом полета космического корабля. Благодаря этим измерениям строители замкнули тоннель синхротрона с точностью до 3 мм. Незадолго до запуска ускорителя У-70 летом 1966 г. Протвино посетил премьер-министр Франции Жорж Помпиду.

Ускорительный комплекс У-70 был построен в 1967 г. Это огромная сверхсложная инженерная система. Она представляет собой гигантскую по окружности вакуумную камеру, свернутую в кольцо и размещенную в электромагните весом 20 тыс. т. При разгоне частиц до скоростей, близких к скорости света, и их взаимодействии с мишенью рождается множество разнообразных

вторичных частиц, которые регистрируются сложнейшими детекторами ядерного излучения. После компьютерной обработки экспериментальных данных ученые восстанавливают картину взаимодействия ускоренной частицы с веществом, делая выводы о свойствах внутриядерных частиц, о параметрах теоретических моделей фундаментальных взаимодействий.

Но кроме работ на ускорителе многие исследования, которые идут в институте сегодня, по-настоящему прорывные. Что это за работы и почему они важны — наш разговор с директором ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» академиком **Сергеем Владиславовичем Ивановым**.



Директор ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» академик С.В. Иванов

— С чего начинался ваш институт?

— Первым директором и основателем нашего института был А.А. Логунов — выдающийся советский физик-теоретик, ректор МГУ им. М.В. Ломоносова с 1977 по 1992 г. Именно при нем наш институт стал самостоятельным научным центром мирового уровня. До этого около года он был филиалом московского Института теоретической и экспериментальной физики. Там еще в 1958 г. началось сооружение протонного синхротрона У-7 — по сути, прототипа Протвинского ускорителя. Более масштабный проект — ускоритель протонов на 50 ГэВ — было решено запустить на другой площадке, вне Москвы. В его проектировании и сооружении непосредственно участвовали многие выдающиеся ученые и инженеры ИТЭФ. Еще до запуска ускорителя в Протвине был создан научно-координационный совет, в состав которого вошли известные ученые из Курчатовского института, ОИЯИ, ИТЭФ, ФИАН, МГУ, МИФИ и других институтов. Сегодня, как известно, и мы, и ИТЭФ входим в состав большого НИЦ «Курчатовский институт», и здесь налицо преемственность научных школ, направлений, можно сказать, что и своеобразная внутренняя логика развития науки.

Завершение строительства ускорителя У-70 (вначале он назывался «Серпуховский синхрофазотрон») и соответствующей экспериментальной базы, запуск ускорителя, который пять лет был крупнейшим в мире, первые, очень востребованные исследования по физике элементарных частиц в нашем ускорителе были осуществлены под руководством А.А. Логунова.

Весь город Протвино был создан именно под задачи строительства института: в связи с этим происходило становление городской инфраструктуры,



социальных, культурных, бытовых, энергетических и прочих сфер. Недаром Протвино имеет статус наукограда.

— Основные направления исследований были определены с самого начала?

— Да, главная сфера деятельности нашего института была определена с момента основания и осталась неизменной: проведение исследований фундаментальных свойств материи и элементарных частиц с помощью ускорителя заряженных частиц. Это очень интересная, комплексная сфера науки и техники. Например, чтобы ускоритель заработал, в одной точке должно сойтись очень много технологий: это и магнитные системы, и системы электропитания, и специальные вакуумные системы, высокочастотные ускоряющие, импульсно-ударные, системы управления и т.д. Наличие подобного класса установок, объединяемого

Введенный в эксплуатацию в 1967 г. в Протвине крупнейший ускоритель своего времени — протонный синхротрон на энергию 70 ГэВ (10^9 электронвольт) У-70 — до сих пор остается самым высокоэнергетичным ускорителем России. Ввод в эксплуатацию «Серпуховского синхрофазотрона» ознаменовал начало нового этапа развития физики высоких энергий и ускорительной техники. Советские ученые получили в свое распоряжение экспериментальную базу коллективного пользования с уникальными возможностями для проведения исследований в области физики микромира. В 1968 г. на У-70 была достигнута проектная интенсивность 10^{12} протонов в цикле, что позволило начать первые физические эксперименты при рекордных энергиях.

Уже в первых экспериментах на ускорителе У-70 были открыты антиядра гелия-3 и трития, содержащие по три антинуклона. Позже были обнаружены более 20 новых частиц с уникальными свойствами, благодаря чему ученые

смогли объяснить ряд процессов, происходящих во Вселенной. Вскоре после этого советские физики разработали проект нового ускорителя — протон-протонного коллайдера на энергию 3×3 ТэВ, который стал бы самым мощным в мире. К концу 1989 г. была выполнена значительная часть работ, было почти закончено сооружение гигантского подземного кольца для ускорителя. Все работы, к сожалению, пришлось заморозить и свернуть в 1990-е гг. Опыт ученых, инженеров, участвовавших в сооружении «советского коллайдера» в Протвине, оказался впоследствии очень востребованным при создании Большого адронного коллайдера (БАК) в CERN. В 2015 г. по инициативе НИЦ «Курчатовский институт», осуществляющего в соответствии с распоряжением Правительства РФ научное руководство кооперацией российских организаций в международном проекте «Большой адронный коллайдер» в CERN, была разработана Программа сотрудничества Российской Федерации с CERN на 2015–2020 гг.

2

1. Здание вычислительного центра ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» 2. Линейный ускоритель протонов УРАЛ-30



общим названием «исследовательские мегаустановки», — это индикатор научного, технологического уровня страны, особенно если они построены на собственной промышленной и технологической базе. Это показатель того, что страна имеет ресурсы, прежде всего кадровые, интеллектуальные, которые позволяют ей заниматься фундаментальными исследованиями на самом переднем крае современной науки и которые служат основой для прикладной науки.

— Ваш ускоритель — своего рода сердце института. Чем он занят сейчас?

— Наш ускорительный комплекс с момента запуска прошел большой путь развития. Прежде всего, у нас был изменен так называемый инжекционный каскад, то есть вместо линейного ускорителя И-100, который шел первым по ходу пучка перед его переводом на кольцевую орбиту, был создан линейный ускоритель протонов УРАЛ-30 с высокочастотной квадрупольной фокусировкой. Кстати, ученые нашего института, которые разработали этот принцип, получили Ленинскую премию. Был создан быстроциклический кольцевой бустер У-1,5, что позволило пройти ряд существенных ограничений в физике пучков заряженных частиц (так называемый кулоновский сдвиг бетатронной частоты) и повысить интенсивность большого кольца.

Кроме того, серьезно развивались различные технологические системы, системы быстрого и медленного вывода пучка, сеть каналов транспортировки пучка и экспериментальных установок.

Большие усилия были потрачены на развитие и диверсификацию возможностей комплекса. По проекту он был создан только для ускорения протонов — частиц с отношением заряда к массе, равным единице. А за последние годы мы продвинулись в направлении ускорения ядер углерода. Это непростая задача, поскольку ядра углерода имеют отношение заряда к массе $1/2$. И мы

нашли такое окно возможностей, которое в наших технологических системах при минимальной перенастройке позволило нам захватить и ускорить пучки ядер углерода и фактически перевести их в разряд инструментов фундаментальных исследований. А на промежуточных энергиях мы их как раз направили на радиобиологию и медицину, поскольку одно из перспективных и быстроразвивающихся направлений современной медицины — это адронная, или углеродная, лучевая терапия.

— Расскажите об этом направлении исследований подробнее.

— Оказалось, что наш кольцевой бустер У-1,5 — это ускоритель, который дает нам возможность получать пучки частиц той энергии, которые необходимы для медицинских целей. Это пока еще не лечение, а радиобиологические и предклинические исследования. Прежде чем все это войдет в клиническую практику, нужно, чтобы работу с ускоренными углеродными пучками освоили врачи, радиобиологи, и все было сертифицировано. Поэтому мы работаем в тесной связке с Медицинским радиобиологическим научным центром им. А.Ф. Цыба в Обнинске.

— В чем суть воздействия углеродным пучком?

— Оказывается, терапия углеродным пучком очень эффективна при ряде онкологических заболеваний. Дело в том, что углеродный пучок при продвижении в тканях человека почти не рассеивается и меньше облучает здоровые ткани и органы. У него резкая локализация энерговыделения в области, которая называется пиком Брэгга. Это означает, что можно производить буквально точечное облучение конкретных областей в организме, точно позиционируя энерговыделение пучка в нужном месте, не повреждая соседние ткани.

Это направление сейчас активно развивается на Западе и в Японии. Мы также уверенно движемся в этом направлении. Мы уже сконвертировали установку, созданную для фундаментальных исследований, и максимально быстро перевели в практическую плоскость исследования в этом направлении. То есть мы уже даем реальный углеродный пучок для радиобиологов МРНЦ, Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН из Пущина, а в последние два сеанса к нам присоединились коллеги из Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна ФМБА и Института медико-биологических проблем РАН.

— Какие виды онкологических заболеваний предполагается лечить таким образом?

— Речь идет об так называемых радиорезистентных опухолях, в основном опухолях легких.

Лечение будет происходить в амбулаторном режиме, за 10–15 фракций облучения. Это медицина будущего, которая уже входит в нашу жизнь. Мы считаем, что такая прикладная деятельность — в чем-то «возврат долгов», средств, которые в свое время страна инвестировала в нашу сложную, дорогостоящую исследовательскую инфраструктуру. То, о чем мы говорили в самом начале: фундаментальная наука дает плоды в жизненно важной прикладной области.

Александр Михайлович Зайцев, заместитель директора института по научной работе, профессор МФТИ, заведующий кафедрой физики высоких энергий:

— Если говорить о физике высоких энергий, то за семь десятилетий она прошла огромный путь. Открыты фундаментальные физические законы, которые управляют всем нашим сложным разнообразным миром. Одно из важных недавних научных событий, где все институты НИЦ «Курчатовский институт» принимали серьезное участие, — это открытие в *CERN* бозона Хиггса. Он отвечает за образование массы элементарных частиц. Частицы имеют массу лишь постольку, поскольку они взаимодействуют с неким хиггсовским полем.

— Часто в популярной литературе можно услышать: наконец-то мы поняли, что управляет массами частиц и откуда произошел мир. Откуда же?

— Это ошибочное утверждение. На самом деле в протоне, в нейтроне, то есть в частицах, из которых в основном и состоит мир, кварки весят всего-навсего несколько процентов, а остальное — 98% — взялось неизвестно откуда, из вакуума. Таким образом, пустота устроена, оказывается, чрезвычайно сложно.

— Мы сейчас говорим о темной материи?

— Есть темная материя, которая весит в несколько раз больше нашего вещества. Есть темная энергия...

— ...которая разгоняет Вселенную.

— Это нечто с неправильными термодинамическими законами. Но вопрос в другом. Откуда взялись массы частиц? Если кварки, из которых состоит протон, весят в сумме 10 МэВ, 10 млн электронвольт, а сам протон весит 1 тыс. МэВ, откуда взялась эта масса? Это абсолютно фундаментальный, важнейший вопрос. И современная наука пытается ответить на этот вопрос пока не очень успешно. Мы знаем базовую теорию, так называемую квантовую хромодинамику, и есть понимание того, как такое может быть в принципе. Совсем грубый образ: если мы возьмем два тела, которые притягиваются, то обнаружим дефект масс: суммарная масса системы меньше, чем масса в сумме этих двух тел. Но если мы массы тел



Доктор физико-математических наук, профессор МФТИ А.М. Зайцев

устремим к нулю, то энергия будет отрицательной. Казалось бы, в такой модели вакуум, чтобы иметь минимальную энергию, должен быть заполнен такими состояниями. Как же такое может быть?

Но, оказывается, ровно так мир и устроен. Мы живем не в пустоте. Вакуум — сложное образование, которое нам пока не очень понятно. Осознание этого, с одной стороны, радикально меняет образ окружающего нас мира, с другой — ставит очень серьезные вопросы перед экспериментом. Как такие вещи в принципе можно изучать? Скажем, рыбы плавают в воде и никогда не узнают, что ее формула — H_2O . Или птицы — летают и не догадываются, что вокруг них кислород. Мы точно таким же образом существуем в этом вакууме.

— И никогда не узнаем, что это такое?

— Нет, узнаем, если будем стараться. В отличие от рыб или птиц мы существа любознательные. А конкретный способ состоит в следующем. В этот вакуум надо помещать разные пробники, которые так или иначе с ним взаимодействуют. И такими пробниками выступают элементарные частицы. Они устроены по-разному. Мы понимаем базовые характеристики этих частиц. И если мы посмотрим, как они живут, что с ними происходит, как они взаимодействуют, каковы их свойства, то сможем создать образ более или менее адекватный тому, как этот вакуум устроен. Именно этим в значительной степени занимается наш институт.

В 2012 г. ИФВЭ вошел в состав Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». В рамках Программы совместной деятельности НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ институт координирует фундаментальные и прикладные исследования с использованием протонов. Это предполагает получение новых знаний о фундаментальных свойствах материи для формирования научной базы создания принципиально новых технологий получения, передачи и использования энергии, комплексное обеспечение поддержки и развития важнейших направлений современной фундаментальной физики и техники: физики частиц высоких и промежуточных энергий, физики нейтрино и слабых взаимодействий, ядерной физики, физики пучков заряженных частиц и ускорителей.

На сегодня один из наиболее масштабных научно-технических проектов, в котором НИЦ «Курчатовский институт» осуществляет научное руководство от России, — это сооружение первого международного экспериментального термоядерного реактора нового поколения *ITER*. В иницированном Россией проекте участвуют Европейский союз, Китай, Индия, Япония, Республика Корея, Российская

Федерация и США. Российским специалистам поручено изготовление 25 уникальных систем будущей установки, в этом процессе задействовано более 30 ведущих научно-технических учреждений, предприятий и комплексов со всей страны — от Санкт-Петербурга до Новосибирска, в их числе НИЦ «Курчатовский институт».

12 февраля 2008 г. в НИЦ «Курчатовский институт» было подписано первое соглашение о поставках сверхпроводника для катушек тороидального поля *ITER*. С того момента кооперацией российских предприятий было произведено 28 штатных длин сверхпроводника общим весом более 120 т, высочайшее качество и стабильность характеристик которого не раз подтверждались испытаниями. Специалисты НИЦ «Курчатовский институт» проводили серию уникальных вакуумных испытаний сверхпроводника тороидального поля магнитной системы *ITER* на специальном оборудовании, став победителем международного конкурса в этой области. Производство проводника тороидального поля осуществлялось с 2011 г. кооперацией российских предприятий и организаций: ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, АО «ТВЭЛ», Чепецким механическим заводом, ВНИИКП, ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт».

Узнавать эти трудные вещи можно, занимаясь спектроскопией адронов. Это обширная тема, бурно развивающаяся у нас. Есть масса результатов, полученных за длительное время, и мы продолжаем работать.

— **Есть ли какие-то прорывные результаты?**

— В этой области периодически открываются новые состояния, новые короткоживущие элементарные частицы. Такое происходит каждые несколько лет, и эти открытия уже имеют рутинный характер. Обнаружено, что подавляющее большинство наблюдаемых мезонов состоят из кварка и антикварка. Вместе с тем далеко не все можно

получить из кварка и антикварка. Оказывается, помимо обычных мезонов существуют некие явления, требующие для своего описания введения частиц, которые никак кварк-антикварковой моделью не описываются. Образно говоря, помимо кварка и антикварка там себя проявляет вот этот вакуум, который «болтается» между ними и каким-то образом возбуждается. Это некое третье тело, которое мы экспериментально наблюдаем, но пока не понимаем, что это такое. Мы видим, что квантовые числа этой системы не такие, какие могут быть у кварка и антикварка. Это в свое время обнаружено в нашем институте, но понять, как это устроено, — трудная задача. Работа идет, есть успехи, но это отдельная большая тема — экзотические адроны.

Из свежих результатов, совсем недавно опубликованных, стоит сказать об ограничении на массу экзотических нейтрино. Мы знаем, что есть три нейтрино — электронное, мюонное и тау-нейтрино. Все они очень легкие, их массы много меньше одного электронвольта, то есть они в миллионы раз легче электрона. Чудовищно маленькие массы, практически нулевые. С другой стороны, широкий класс моделей требует, чтобы нейтрино были и тяжелые тоже. И указания на возможность существования таких нейтрино есть. Поэтому стоит задача поиска нейтрино, отличных от тех, которые мы знаем.

У нас в институте недавно получен интересный результат — ограничение на параметры таких нейтрино. В диапазоне от 200



Быстроциклирующий синхротрон на энергию 1,5 ГэВ (бустер У-1,5)

до 300 МэВ получены лучшие в мире результаты по возможным свойствам таких нейтрино. Это делается на установке ОКА технологически сложным пучком.

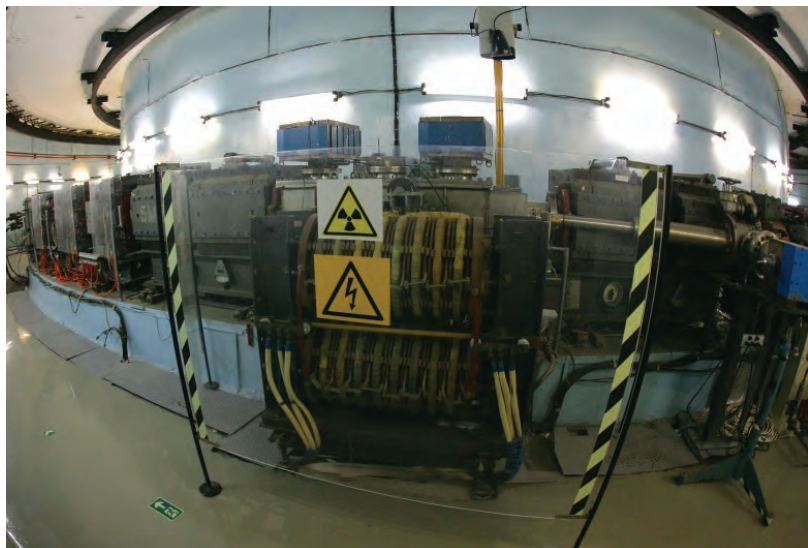
— **Задам дилетантский вопрос. Насколько эти чрезвычайно короткоживущие частицы, которые вы с трудом фиксируете, фундаментально необходимы нашему миру? Или они случайно возникают и также случайно исчезают?**

— Если у вас есть струна, то у нее есть возбуждения. Квантовая физика отличается тем, что эти возбуждения не какие попало, а квантованные. Постоянная Планка управляет всеми возмущениями такого рода. Поэтому если есть система из кварка и антикварка, то с большой вероятностью у нее должны быть возбуждения, подобные тем, что наблюдаются у ядер, атомов, молекул. То есть такие объекты в принципе должны существовать. Вопрос состоит в следующем: какова структура этих объектов, каков потенциал, управляющий этими возбуждениями? И самое удивительное состоит вот в чем. Оказывается, этот потенциал такой, что при увеличении расстояния между кварками сила притяжения не уменьшается, она остается постоянной. И никакой энергии нам не хватит, чтобы их разорвать и получить свободные кварки. Базовые принципы взаимодействия частиц более или менее понятны, а вот конкретика, связанная с взаимодействием этих частиц, которые в свою очередь определяют на 99% свойствами вакуума, должна быть изучена и понята в полной мере. И здесь есть место для эксперимента.

— **Нет ли у вас такого чувства, что чем больше вы узнаете, тем меньше вы понимаете?**

— Нет, не так. Понимаем-то мы больше, но область исследований тоже расширяется. Это классическая картинка увеличивающегося круга: внутри — то, что знаем, а граница — то, что познаем.

Есть еще группа процессов, имеющих отношение ко всему сказанному, — это изучение специальных конфигураций, например в ядрах или других системах из большого количества частиц. Ядро представляет собой как бы мешок с нуклонами — протонами и нейтронами, они взаимодействуют друг с другом, но не слишком связаны. На самом деле, по-видимому, в ядре в тех или иных случаях существуют достаточно компактные конфигурации, можно постараться как-то по ним «ударить» той или иной частицей, чтобы понять их устройство. Изучение этих компактных конфигураций — интересная и важная тема, потому что взаимодействие кварков с вакуумом сильно меняется, если их поместить в очень большом количестве в один небольшой объем. В таких экстремальных условиях возникает свой мир,



Бустер У-1,5

своя богатая физика. Одна часть ее называется кварк-глюонной плазмой, которая возникает при очень высоких энергиях и температурах. Но есть нечто и при низких температурах.

— **То есть там кипящий бульон, а то, что вы изучаете, — наоборот.**

— Совершенно верно. Если обычное вещество разогреть, электроны отрываются и получается плазма. В нашем случае это другая часть общей термодинамической картинки. Это как лед при высоком давлении.

— **И что интересного вы там наблюдаете?**

— Мы видим удивительные вещи. Когда частица высоких энергий сталкивается с ядром, она отскакивает вбок или вперед и летит с импульсом больше, чем это возможно для упругого рассеяния нуклонов. Это выглядит так, как будто велосипедист столкнулся с каким-то препятствием и вся его кинетическая энергия влетела в очки. Такие явления названы кумулятивными. Они известны уже давно, но нам удалось их изучить при больших переданных импульсах. Тем самым на этом пути мы пытаемся понять такие компактные образования в ядрах. Там много загадок — например, большой выход дейтерия, трития, чего в моделях не было. Это чисто экспериментальные наблюдения. Но и отлаженной теории здесь нет, потому что вся эта наука трудно поддается формализации.

— **Кварк-глюонная плазма — это состояние Вселенной в момент Большого взрыва. А то, что вы изучаете, существует в природе?**

— Это трудный вопрос. Возможно, существует. Например, очень тяжелый объект, который сжимает гравитация.

— **Черные дыры?**

— Нет, скорее нейтронные звезды.

— **Какие у вас планы на будущее?**

— У нас есть шесть так называемых базовых установок. Какие-то из них заработали лет пять назад, какие-то чуть раньше. Одна установка сейчас запускается. Когда мы говорим о частицах, то понимаем, что у них есть спин — собственный момент количества движения. При взаимодействии частиц в зависимости от ориентации спинов возникают разные угловые распределения продуктов реакции, которые несут много крайне непростой информации о механизмах взаимодействия. Поэтому исследование этих спиновых эффектов — очень большая тема, достаточно трудная, но очень естественная для нашего института. Потому что при наших энергиях эти спиновые эффекты значительны и есть надежда понять такие процессы.

Для этих целей сделана специальная установка, которая может мерить почти все, что видно на поляризованной мишени. Сейчас мы работаем над повышением параметров этой мишени. Мы планируем буквально со следующего года начать большую программу исследований с этим спином. Она сулит нам большие научные дивиденды.

Кроме того, есть целый ряд других предложений. Например, изучение упругого рассеяния разных частиц на протонах. Такие эксперименты проводились многократно. Но современная техника позволяет сделать это на много порядков лучше, чем это было раньше, — и по количеству зарегистрированных событий, и по систематическим ошибкам, и по кинематическому диапазону. Это важно, потому что упругое рассеяние говорит о том, как устроена частица. Угловые распределения связаны самым непосредственным образом с конструкцией этих частиц. Поэтому детальное изучение упругого рассеяния с рекордной точностью актуально. Через два-три года можем ожидать серьезных результатов в этой области.

Есть и другие задачи. Важнейшая из них — повышение интенсивности ускоренных пучков. По сравнению с тем, что было в проекте 50 лет назад, она выросла, наверное, в те же 50 раз. Для этого сделан бустер, то есть вся система инъекции заменена на новую, заменена вакуумная камера ускорителя... Это весьма масштабные задачи.

Сейчас мы занимается другой системой инъекции, чтобы вместо протонов инжектировать отрицательные ионы водорода, что позволит при достаточно хитрых манипуляциях заметно повысить интенсивность пучков. И у нас есть проект с радикальным повышением этой интенсивности в 50 раз. Мы знаем, как это сделать, но это большая работа, и мы надеемся, что рано или поздно нас поддержат в этом направлении. Понятно, что реализация такого масштабного проекта потребует значительных усилий и средств.

— **Приходится ли вам отвечать на вопрос, зачем надо всем этим заниматься?**

Всего за пять лет российские предприятия изготовили 28 штатных (единичных) длин проводника общим весом более 120 т.

- Современная оснащенная линия джекетирующая была построена на территории ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» в Протвине.
- Токонесущие элементы для катушек ТП производятся посредством затягивания сверхпроводящего кабеля в трубную стальную оболочку длиной до 800 м.
- Изготовленные токонесущие элементы проходили заключительные испытания на площадке НИЦ «Курчатовский институт» в Москве.
- В середине 2015 г. в ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» завершили джекетирующую последнюю единичную длины проводника тороидального поля для *ITER*.
- Всего было выпущено ~18 км таких элементов.
- После серии испытаний сверхпроводник был отправлен в Италию для изготовления катушек тороидального поля магнитной системы для *ITER*. Таким образом, российская сторона завершила выполнение обязательств по производству важнейшего компонента установки.

— Да, регулярно. И ответ на этот вопрос у нас есть. История развития цивилизации совершенно определенно говорит нам о том, что все эти достижения передовой науки востребованы, начиная от электричества, радиоволн, ядер и квантовой физики. Вся наша цивилизация на этом держится. Вторая сторона дела состоит в том, что на этом пути возникает масса новых технических приложений. Количество ускорителей в мире исчисляется десятками тысяч. Они для чего только не используются: для лечения людей, для облучения семян, чтобы лучше росли и были крепче зимой, для материаловедения и т.д. Ускорители — важный элемент современных технологий.

— **И все это не появилось бы без фундаментальных исследований.**

— Да, фундаментальная наука — двигатель прогресса в этой части, и ее вторичные продукты очень значимы. Один из ярких, свежих продуктов такого рода — это интернет, без которого мы жить не можем. Он изменил общество. Мы живем в другом мире благодаря интернету, а он был изобретен в связи с потребностями физики высоких энергий. Таких примеров множество.

Но главное, на мой взгляд, состоит в том, что познание мира — это неотъемлемая потребность человека. Знания — необходимый и обязательный элемент человеческой жизни, как еда, воздух или вода. И в этом смысле мы поставщики для общества чего-то самого главного — не только ускорителей, технологий, но и частицы того, что позволяет нам называться людьми. ■

Беседовала Наталия Лескова