

# «НОВЫЕ МИРЫ» СОЗДАЮТСЯ В ЛАБОРАТОРИИ

Доктор физико-математических наук **Б. А. ДОЛГОШЕИН**,  
Московский инженерно-физический институт (МИФИ)

**Четвертая международная научная конференция «Научная сессия МИФИ-2001» прошла в начале 2001 г. в Московском инженерно-физическом институте. В форуме приняло участие свыше 2500 специалистов, представлявших 372 организации из 32 стран. Первое пленарное заседание было посвящено одной из самых передовых областей фундаментальной науки — физике элементарных частиц.**

**Р**азвитие этой сферы науки сегодня невозможно без использования грандиозных сооружений — ускорителей частиц (протонов, электронов и их античастиц), строительство которых под силу только содружеству многих государств. Примером такого объединения служит ЦЕРН — Европейский центр ядерных исследований. Этот международный институт (он объединяет 19 европейских государств) был создан в 1954 г. близ Женевы (Швейцария) для изучения структуры материи.

Вскоре там появились первые ускорители протонов с энергией, сейчас представляющей очень малой — сначала на 800 МэВ, затем — на 28 ГэВ. Даже наличие таких «крошек» в начале 60-х годов привело к открытию нового типа нейтрино (так называемого мюонного), существование которого ранее предсказал советский академик Б. М. Понтекорво.

В 60-х и начале 70-х годов центр тяжести изучения физики частиц переместился в СССР, где запустили ускоритель на рекордную для того времени энергию — 70 ГэВ (подмосковное Протвино)\*. Именно тогда в рамках заключенного соглашения началось тесное сотрудничество физиков ЦЕРНа и нашей страны.

В 70-80-е годы в ЦЕРНе ввели в строй ускорители с энергией протонов и антипротонов 450 ГэВ, а затем и электрон-позитронный коллайдер на 100×100 ГэВ. В результате удалось открыть новый тип кварков\*\*, обнаружить кванты слабого взаимодействия, «поймать» новые нейтрино и многое другое. Словом, в последние десятилетия ЦЕРН стал крупнейшим

\* См.: Л. С. Ширшов. В 30 лет — вторая молодость. — Наука в России, 1998, № 4 (прим. ред.).

\*\* См.: П. Ф. Ермолов, Е. К. Шабалина. Тяжелые кварки: поиск продолжается. — Наука в России, 2001, № 3 (прим. ред.).

центром изучения фундаментальных свойств материи.

Что же сейчас волнует международное сообщество ученых, членом которого являются и специалисты МИФИ? Чтобы лучше представить себе цели исследований и содержание докладов, нам придется «вернуться» на 15 млрд. лет назад — к предполагаемому моменту возникновения Вселенной, т.е. к Большому взрыву (The Big Bang).

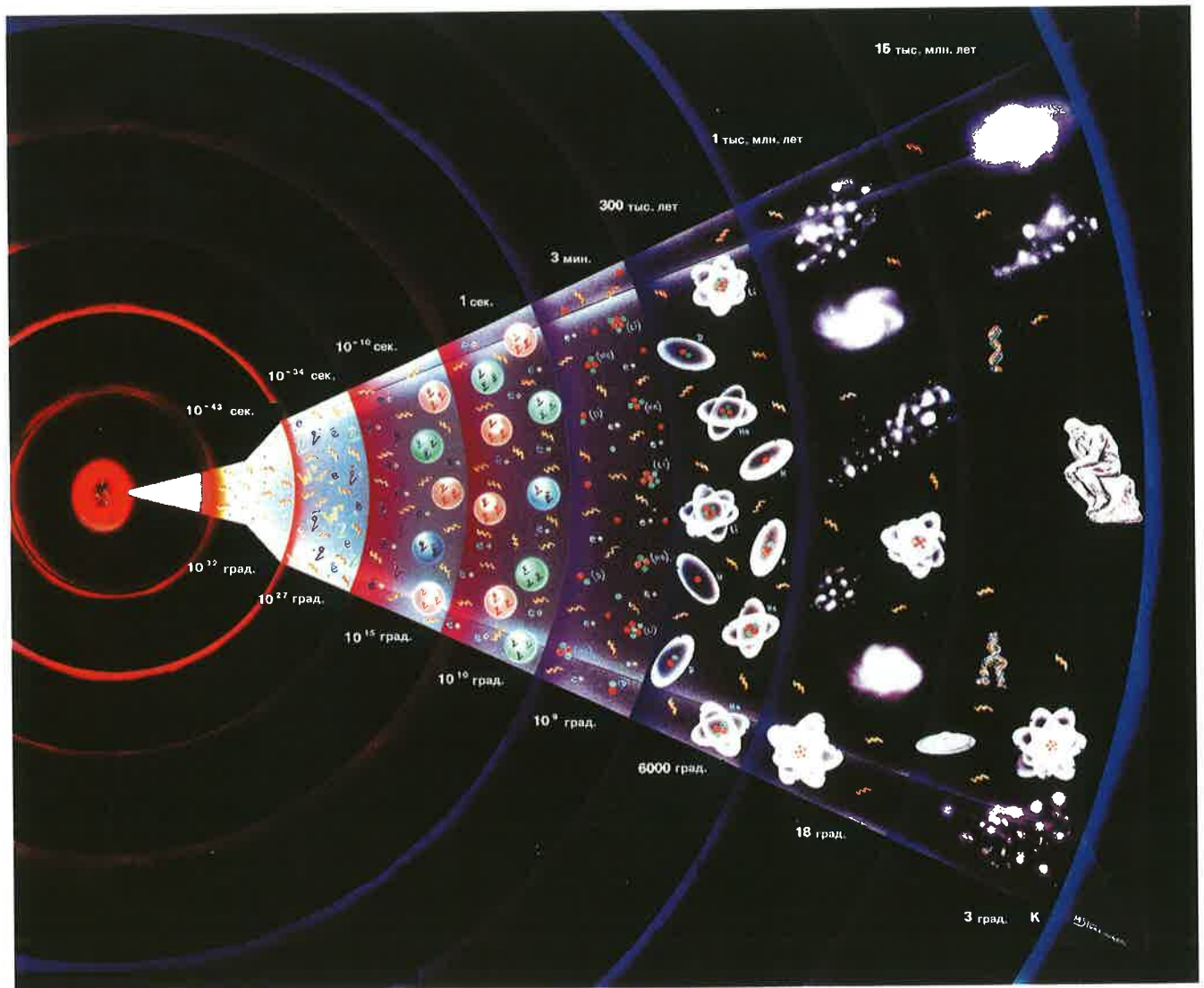
В настоящее время мы существуем в весьма «холодном» мире, ибо его температура значительно отличается от первоначальной (т.е. в первые доли секунды после

**Так выглядел мир в первые секунды по теории Большого взрыва.**

взрыва) на многие миллиарды градусов. Поэтому сейчас нам очень сложно понять процессы, происходящие на уровне фундаментальных составляющих материи — кварков и лептонов, а также представить существование возможно новых элементов материи и полей взаимодействий, т.е. происходящих лишь при очень высоких температурах (энергиях). Для «воспроизведения» условий, сложившихся в первые моменты после Большого взрыва, есть единственная возможность — искусственно создавать в лаборатории чрезвычайно высокие температуры и плотности, а это происходит при столкновении частиц, ускоренных до предельно высоких энергий.

Для реализации задуманного в настоящее время в ЦЕРНе начали сооружать новый адронный коллайдер LHC (Large Hadron Collider) с рекордной энергией частиц  $7 \times 7$  ТэВ. Этот «монстр» будет находиться в кольцевом туннеле длиной 27 км на глубине 50–100 м. В нем разместят сверхпроводящие магниты, способные создать поле около 8 тесла, что позволит удерживать частицы на кольцевой орбите. Мало того. Этот беспрецедентный в мировой практике комплекс магнитов, находящихся при температуре жидкого гелия, будет отъюстирован с точностью 100 мк. Запуск LHC намечен в 2006 г.\*

\* См.: Л. Н. Смирнова. Шаг в двадцать первый век. — Наука в России, 1996, № 1 (прим. ред.).





Цели будущих исследований изложил в докладе Д. Фруадево (Франция). Несколько упрощая его сообщение, можно сказать, что одним из назначений коллайдера будет обнаружение так называемого кванта нового поля, предсказанного английским теоретиком П. Хиггсом (он так и назван – бозон Хиггса) и обеспечивающего возникновение масс у всех частиц материи. Здесь нужно дать некоторые пояснения.

П. Хиггс предположил, что существует гипотетическое поле, взаимодействие с которым определяет массы всех известных до сих пор науке элементарных частиц. Так говорит теория, а вот верно ли это, должен подтвердить или опровергнуть эксперимент.

Другая, не менее сложная задача LHC – поиск так называемых суперсимметричных частиц (SUSY particles). Их мир, в отличие от нашего, «остывшего», где «обитают» уже хорошо известные протоны, нейтроны, электроны и др., состоит из в сотни раз более тяжелых (чем перечисленные) частиц, распавшихся в первые доли секунды образования Вселенной. Воссоздание такого суперсимметричного мира в условиях ускорителя позволит проверить правильность этого взгляда на прошлое и убедить или опровергнуть современное понимание природы полей и материи.

Ставится еще одна цель (о ней говорилось в докладе А. Б. Курепина, МИФИ) – ускорять с помо-

щью LHC ионы тяжелых элементов, скажем, свинца, и тогда при соударении их ожидается возникновение нового состояния материи – кварк-глюонной плазмы\*.

Как же будут сталкиваться частицы столь высоких энергий в коллайдере в Швейцарии? Этому вопросу посвятил доклад М. Прайс (ЦЕРН). Он, в частности, сказал: в поле одних и тех же магнитов ускорителя навстречу друг другу станут разгоняться сгустки (bunches) протонов, а затем они сойдутся в нужной точке.

\* См.: Ю. А. Симонов, В.И. Шевченко. Пленение и освобождение кварков. – Наука в России, 1998, № 2 (прим. ред.).

**Коллайдер LHC (ЦЕРН).**

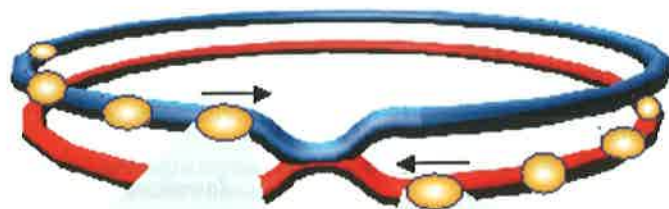


Причем их столкновения будут происходить с частотой до миллиарда раз в секунду. Каждый из протонов является носителем фундаментальных элементов — кварков и глюонов, при взаимодействии которых возникают самые различные частицы.

*Схема столкновения протонов на ускорителе LHC.*

Всего на кольце коллайдера предусмотрено установить четыре экспериментальные установки; каждая из них будет выполнять свои функции. Здесь более подробно мы рассмотрим лишь одну под условным названием ATLAS. Это гигантское сооружение высотой с 8-этажный дом, буквально напичканное аппаратурой. Приведем краткий ее перечень — детектор мюонов, электромагнит-

ные и адронные калориметры, огромные каналный и концевой сверхпроводящие магниты тороидальной формы, соленоид и, наконец, сердце всей установки — трековый детектор переходного излучения (о нем мы поговорим особо). Все эти устройства выполнены с точностью не менее 100 мк и должны работать синхронно в течение многих лет в высоких полях излучений, где потоки фото-



**Протон-Протон** (2835 x 2835 пучки)  
**Протоны/пучок**  $10^{11}$   
**Энергия луча** 7 ТэВ ( $7 \times 10^{12}$  эВ)  
**Светимость**  $10^{34}$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>  
**Скорость пересечений** 40 МГц

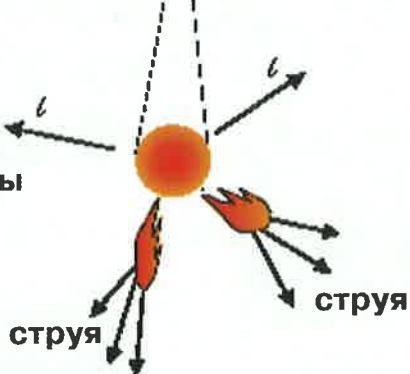
**Пучок плазмы**

**Протон**

**Столкновения**  $\approx$   $10^7 - 10^9$  Гц

**Партон**  
(кварк, глюон)

**Частицы**



**Хиггс**

**СЮЗИ....**

**Избирательность - 1 из 10 000 000 000 000 000**



нов и нейтронов достигают плотности  $10^7 \text{ см}^2/\text{с}$ . Даже изделия космической индустрии по насыщенности, сложности и точности не могут сравниться с подобными установками.

ATLAS сконструирован так, что ни одна частица (кроме нейтрино), рождаемая при протон-протонных взаимодействиях, не должна остаться незамеченной, под каким бы углом она ни вылетала. Причем фиксируются не только само ее наличие, но и характеристики — классификация, координаты, энергия.

Особый интерес представляет, как уже говорилось, поиск бозона Хиггса и суперсимметричных частиц, хотя это и архисложная задача. Теоретики предсказывают: такое событие («поимка» искомого) может случиться с вероятностью  $10^{-12}$ – $10^{-13}$  на одно протон-протонное соударение. Мало того. Даже если такое произойдет, то выявить его среди других столкновений — задача на много поряд-

ков сложнее, чем найти иголку в стоге сена. Дело в том, что происходит огромное количество похожих, или, как говорят физики, фоновых событий, и здесь на помощь может прийти математическое компьютерное моделирование, о чем сообщил П. Л. Невский (МИФИ). Развитие этого метода важно еще и потому, что физики не имеют права «промахнуться» при строительстве установки стоимостью 300 млн. долл.

Одним из интереснейших был доклад А. С. Романюка (МИФИ), подробно описавшего трековый детектор переходного излучения, — сердце всей установки — детище сотрудников нашего института. Он создается впервые в мире и, как следует из названия, предназначен для регистрации треков (следов) частиц и их идентификации на основе явления переходного излучения при ее переходе из одной среды в другую. Оно было открыто в 50-е годы XX в. отечественными учеными (впоследствии

академиками) В. Л. Гинзбургом и И. М. Франком и развито сотрудником Ереванского физического института Г. М. Гарибяном. В данном случае речь идет о рентгеновском излучении, возникающем при пересечении ультрарелятивистской частицей границы двух сред — воздух-полипропилен. Его интенсивность зависит от масс частиц, что позволяет их идентифицировать и, таким образом, выделять электроны на фоне более тяжелых их «собратьев».

Этот прибор уникален, ибо работает в экстремальных условиях. Здесь каждую секунду рождается около 10 млрд. частиц, т.е. в сотни

*Схема экспериментальной установки ATLAS: 1 — детектор мюонов;*

*2 — соленоид;*

*3 — электромагнитные калориметры;*

*4 — передние калориметры;*

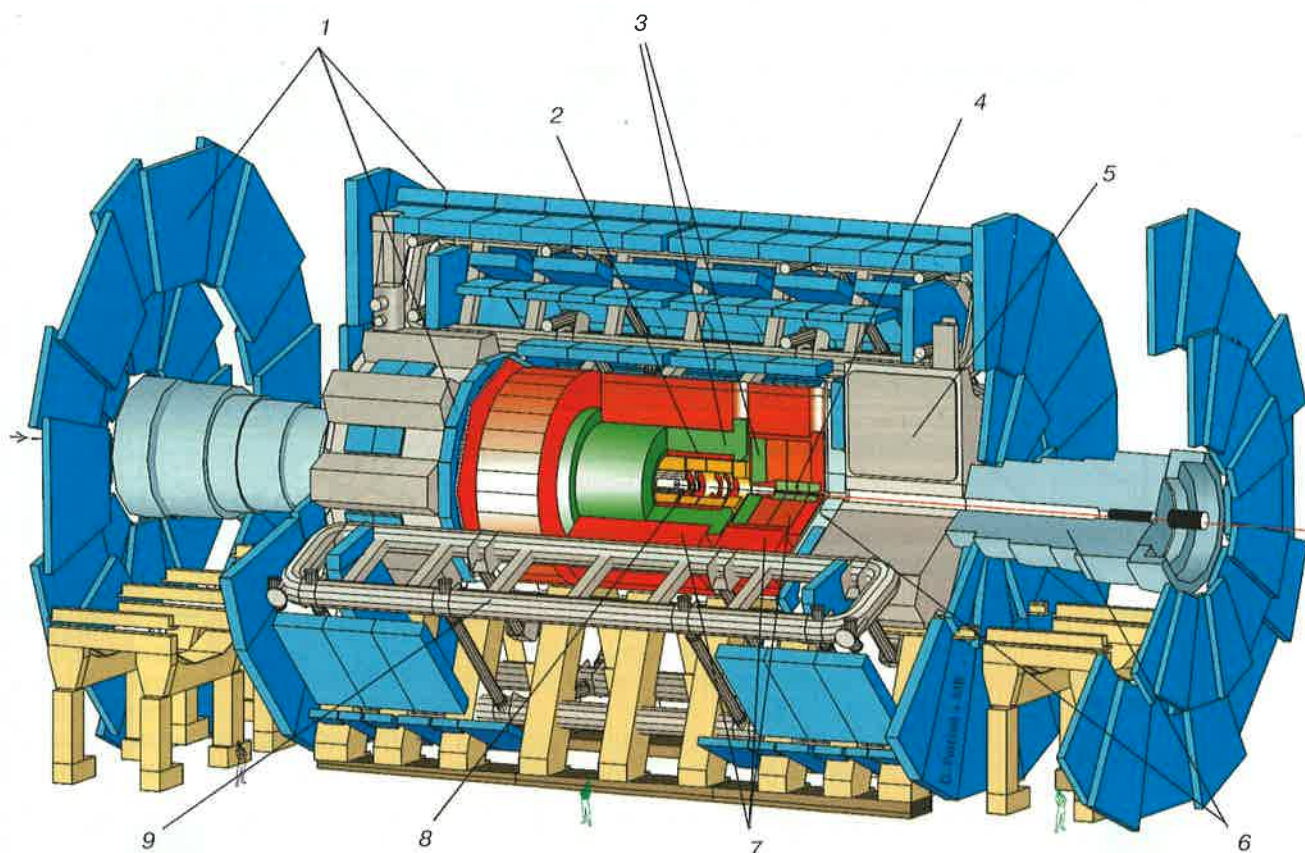
*5 — концевой торроидальный магнит;*

*6 — радиационная защита;*

*7 — адронные калориметры;*

*8 — внутренний детектор;*

*9 — кольцевой торроидальный магнит.*





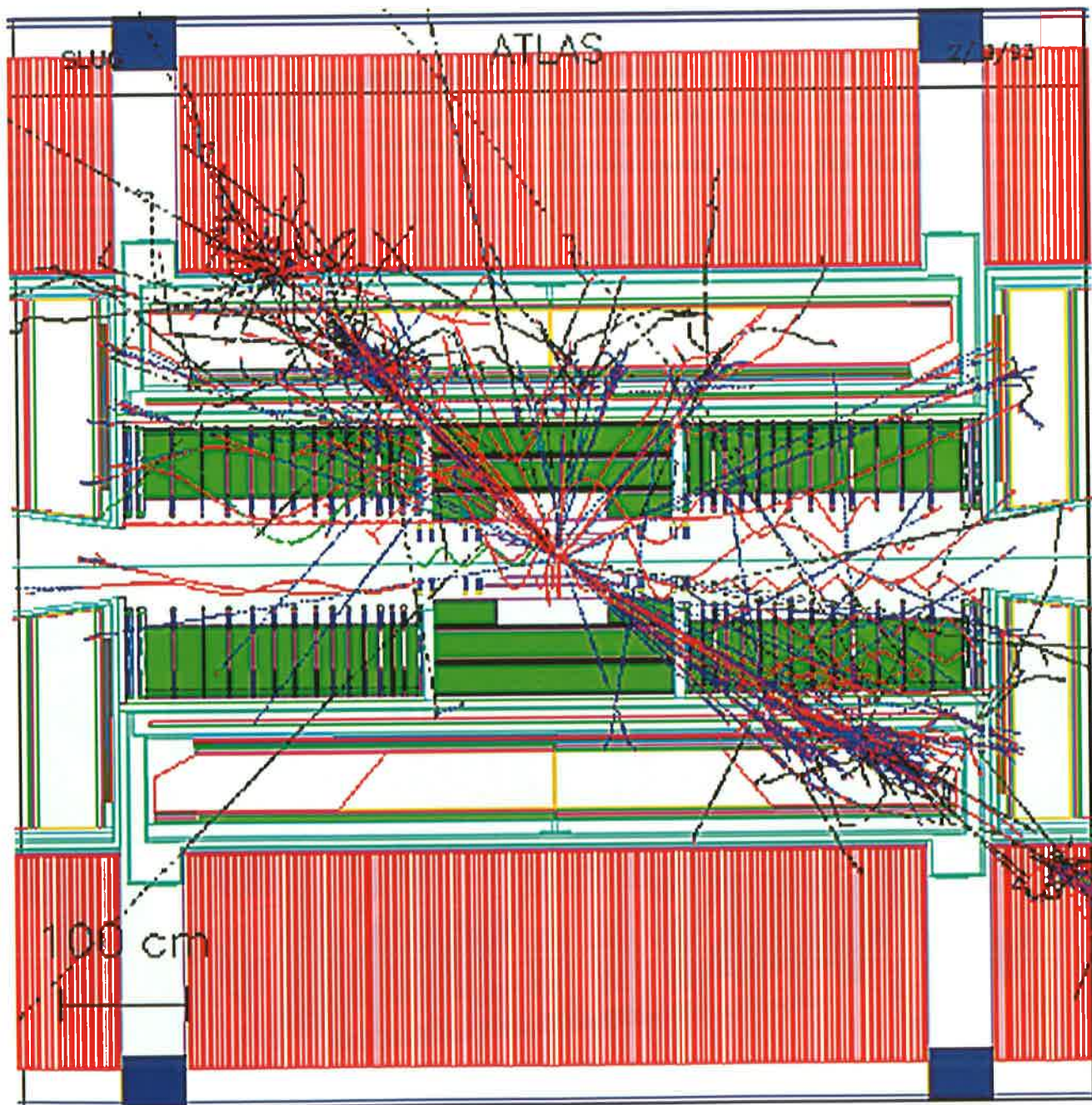
раз больше, чем в любых предыдущих экспериментах, причем все они должны быть зарегистрированы и идентифицированы с эффективностью 90% по «сортам», а их следы (треки) необходимо восстановить с точностью до 100 мкм в объеме нескольких кубических метров.

**Компьютерное моделирование столкновения протонов для внутреннего детектора.**

Такие условия налагают очень суровые требования к быстродействию, координатной точности и надежности прибора. А если прибавить, что детектор должен работать в экстремально высоких полях излучений (на грани устойчивости материала) в течение 10–15 лет без ухудшения характеристик, то станет ясно, сколь сложна задача по его сооружению и эксплуатации.

Основой этого уникала является газовая дрейфовая трубка диа-

метром 4 мм (всего в аппарате их 400 000 штук), а длина в зависимости от ее местоположения в приборе может меняться от 40 до 150 см. Ее стенка (толщиной около 28 мк) состоит из четырех слоев — углерод с каптоном (внешний), алюминий, каптон и полиуритан. Трубка заполнена газовой смесью на основе ксенона, а в ее центре натянута тонкая проволочка, к которой подведено напряжение 1500 В (она является анодом).







Принцип работы детектора заключается в следующем. Частица, проходя через трубку, ионизирует газ, и оторвавшийся электрон начинает перемещаться (дрейфовать, поэтому трубка называется дрейфовой) к аноду. Возникший сигнал считывает специальная быстродействующая аппаратура и формирует информацию о времени прихода частицы (около 1 нс), ее координате (с точностью около 100 мк), импульсе и типе.

Прибор работает в условиях газового разряда в больших электрических полях. При этом, если вспомнить, что каждая трубка должна зарегистрировать за время своей жизни более  $10^{15}$  частиц при полном интегральном заряде 1000 кулон, станет ясно: по сути она является «плазменным реактором», не изменяющим свои весьма прецизионные характеристики в течение 10–15 лет.

Трековый детектор переходного излучения детально испытывался

в течение нескольких лет и в настоящее время находится в стадии изготовления, поэтапной сборки и тестирования.

В разработку проекта Larger Hadron Collider большой вклад внесли физики крупнейших научных учреждений России – Института физики высоких энергий (Протвино), Объединенного института ядерных исследований (Дубна), Института теоретической и экспериментальной физики, Российского научного центра «Курчатовский институт», Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова, Института ядерной физики им. Г. И. Будкера (Новосибирск) и др.

Самая интересная фаза экспериментов – получение физических результатов и их осмысление – начнется после запуска LHC в 2006 г. и продлится 10–15 лет. Она возможна только при выпол-

**Сборка одного из модулей полномасштабного прототипа трекового детектора переходного излучения.**

нении двух условий: наличия мощной международной компьютерной системы передачи и обработки экспериментальных данных (последняя ныне интенсивно создается), а также подготовки высококвалифицированных специалистов (сегодня это студенты), способных решать физические проблемы на новом уровне вместе с мировым сообществом ученых.

*Иллюстрации предоставлены автором*