



Внутри этой конструкции смонтировали сто миллионов датчиков детектора ATLAS

# Большое столкновение

В апреле этого года (с опозданием на четыре месяца) под Женевой будет запущен Большой адронный коллайдер. Этого события физики всего мира ждали почти десятилетие. В коллайдере будут сталкиваться адроны: либо в виде голых протонов, либо в виде ядер свинца. Энергия столкновения составит рекордные 14 ТэВ на один протон. Это в миллионы раз больше, чем при термоядерном синтезе и, согласно расчетам, ее вполне достаточно для того, чтобы проверить, правильно ли физики представляют себе устройство нашего мира. Большой адронный коллайдер — самый большой прибор в мире. Длина окружности его тоннеля — 28 км. Сверхпроводящие магниты, которые управляют разгоном частиц сначала охладят с помощью 10 тысяч тонн жидкого азота, а потом 60 тонн жидкого гелия. Суммарный вес детекторов превысил 24 тысячи тонн.

**К**огда две частицы, разогнанные в канале ускорителя-коллайдера, сталкиваются, вся их огромная кинетическая энергия должна во что-то превратиться. В Большом адронном коллайдере энергия столкновения адронов пойдет на разогрев содержащихся внутри них кварков и глюонов и на разрыв связей между ними.

Оказавшись на свободе, и кварк, и глюон далеко улететь не смогут, а претерпят фрагментацию, породив струи частиц, таким образом замыкая круг превращения.

Масса частиц при столкновениях не сохраняется, а, наоборот, фактически берется из ниоткуда, что и придает этому разделу физики особую

специфику. Дело в том, что эта масса будет зависеть от величины кинетической энергии исходных частиц в соответствии с формулой Эйнштейна  $E=mc^2$ , то есть  $m=E/c^2$ . Чем большую скорость наберут частицы до столкновения, тем более тяжелые частицы они могут породить. Поскольку при столкновении адрон распадется на несколько составных частей, энергия каждой из них будет примерно в десять раз меньше, чем энергия столкновения. Отсюда следует: чтобы породить частицы с массой в сотни ГэВ (а это масса наиболее интересных для современных физиков частиц), требуется разогнать те же протоны до энергии в ТэВ.

В конце концов все частицы, образовавшиеся, в коллайдере превраща-



Поперечное сечение детектора в том месте, где столкнулись протоны. Частица каждого типа, затормозившись в своем слое породила вспышку, которую фиксируют датчики



Все фото CERN



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

ются в ограниченное число более-менее стабильных заряженных (электрон, мюон, мезоны, протон) или незаряженных (гамма-квант, нейтрино, нейтрон) частиц и античастиц. Под словом «стабильные» имеется в виду, что частица живет достаточно долго, чтобы пролететь сквозь детектор. Затем восстанавливается весь каскад реакций. Для этого надо знать массу получившихся частиц, их энергию, моменты количества движения и угол между траекториями, а также типы частиц-продуктов.

В Большом адронном коллайдере установлено четыре гигантских детектора. Это ATLAS — Тороидальный аппарат Большого адронного коллайдера, CMS — Компактный мюонный соленоид, ALICE — Большой эксперимент по столкновению ионов и LHCb — В-физика на Большом адронном коллайдере. Они различаются своим устройством, но принцип работы одинаков. Главное — не потерять ни одной частицы. Поэтому нужно максимально окружить датчиками все направления их разлета. В первых трех детекторах будут ловить частицы, которые летят поперек движения протонов или ядер свинца, а в последнем — вдоль движения.

*Проверка кристаллов вольфрамата свинца*

*Установка сверхпроводящих магнитов для CMS*



Чтобы поймать все частицы—продукты столкновения, детектор содержит несколько слоев. Внутренний предназначен для того, чтобы избежать сильного рассеяния разлетающихся частиц друг на друга. В нем в электромагнитном поле расходятся частицы, обладающие электрическим зарядом или магнитными свойствами. В следующем слое гамма-кванты и электроны поглощаются и порождают ливни излучения. Далее следует адронный калориметр. Он ловит нейтроны, протоны и мезоны. Наибольшая проникающая способность у мюонов, поскольку они раз в сто тяжелее электронов. Для них устроен специальный внешний мюонный детектор. Нейтрино с веществом не взаимодействуют, и об их рождении судят, вычитая энергию всех собранных в детекторе частиц из энергии той частицы, которая их породила.

Внутренние слои детекторов состоят из кристаллов, которые дают вспышку при попадании в них энергичной частицы. Например, в компактном соленоиде слой, который ловит кванты высокой энергии и быстрые электроны, создали из вольфрамата свинца. Всего понадобилось расположить 80 тысяч монокристаллов, сделанных к тому же в форме усеченной пирамиды — ведь детектор имеет кольцевую форму, и это кольцо надо плотно заполнить веществом, чтобы ничто не потерялось. В детекторе ALICE число монокристаллов вольфрамата в четыре раза меньше. И те и другие кристаллы вырастили в России, на Богородицком заводе под Тулой и на заводе «Северная звезда» в Апатитах, который специально реанимировали под решение задачи для ЦЕРНа («Химия и жизнь», 2007, №1).

Столкновения в одном и том же месте коллайдера будут следовать каждые 25 нс. Именно за это время все части детектора должны прийти в исходное состояние и быть готовыми фиксировать новое событие. Результаты измерений  $10^9$  событий в секунду надо где-то хранить. Для этого придумана хитрая электронная схема, состоящая из огромной памяти и 1000 процессоров. Они решают, имеет смысл сохранить событие или нет. На каждое событие приходится примерно один мегабайт данных. Поэтому в год получается  $10^9$  Мб данных. Это как миллион дисков. Для их обработки создана грид-сеть по всему миру.

*Так выглядит вход в детектор LHCb. Протоны будут сталкиваться примерно там, где стоят монтажники*



**А. Мотыляев**