

Содержание

Введение.....	2
Конструкция большого адронного коллайдера.....	3
Технические характеристики.....	4
Принцип работы большого адронного коллайдера.....	5
Цели и задачи большого адронного коллайдра.....	7
Детекторы.....	9
Потребление энергии.....	10
Испытания.....	10
Последствия экспериментов.....	12
Заключение.....	14

Введение

Большой адронный коллайдер – самый удивительный и дорогостоящий научный прибор, когда-либо построенный человеком – готовится к первым экспериментам. Сейчас завершаются последние этапы отладки этого самого большого в мире ускорителя элементарных частиц и уже осенью на нем пройдут их первые столкновения, которые немедленно могут дать сенсационные для мира физики экспериментальные материалы.

Впрочем, как и всегда событие такого масштаба вызывает множество околонучных разговоров о потенциальной угрозе. И поскольку масштаб запускаемого коллайдера огромен, то и бедствия, которые могут постигнуть Землю в результате этого события, также в описаниях пессимистов ужасны. Тем не менее, ученые, проведя не одно исследование, пришли к выводу, что риск для планеты ничтожен.

Правда, предсказать наверняка, какие же результаты даст работа коллайдера, не может никто. Есть лишь научные гипотезы, которые нуждаются в проверке. Тем не менее, если хотя бы часть возложенных на работу этого инструмента надежд оправдается, то человечество ждет множество удивительных открытий, которые в будущем вполне могут стать основой для качественного скачка технологий.

Конструкция большого адронного коллайдера

Идея проекта большого адронного коллайдера (сокр. БАК) родилась в 1984 году и была официально одобрена десятью годами позже. Его строительство началось в 2001 году, после окончания работы предыдущего ускорителя – Большого электрон-позитронного коллайдера.

Колоссальное сооружение возведено в горах на границе Франции и Швейцарии, туннель ускорителя проходит под землей, на глубине от 50 до 175 м. Бетонированная труба диаметром около 3,8 м начала строиться еще в 1983 г. Конечно, на поверхность выходят многочисленные обслуживающие строения – вентиляторы, компрессоры, энергетические подстанции, контролирующие вычислительные центры.

Точные размеры окружности ускорителя – 26,659 км, причем кольцо туннеля наклонено примерно на 1,4% относительно поверхности земли. Внутри него установлено 1232 мощных электромагнита на сверхпроводниках, которые обеспечивают движение пучков по круговой траектории. Еще 392 электромагнита обеспечивают фокусирование этих пучков. Их задача – добиться столкновения частиц в четырех заранее определенных точках. Каждый из электромагнитов весит более 27 тонн.

Большой адронный коллайдер (англ. Large Hadron Collider, LHC; сокр. БАК) – ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжелых ионов (ионов свинца) и изучения продуктов их соударений. Коллайдер построен в научно-исследовательском центре Европейского совета ядерных исследований (фр. Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, CERN), на границе Швейцарии и Франции, недалеко от швейцарского города Женева. Руководитель проекта – Лин Эванс. БАК является самой крупной экспериментальной установкой в мире.

Коллайдер назван большим из-за своих размеров: адронным – из-за того, что он ускоряет адроны (**адроны** – это семейство элементарных частиц, к которым относятся протоны и нейтроны, из них состоят ядра всех атомов); коллайдером (англ. collide – сталкиваться) – из-за того, что пучки частиц ускоряются в противоположных направлениях и сталкиваются в специальных точках столкновения. Предполагается, что скорость разогнанных БАКом протонов составит 0,9999999998% от скорости света, а количество столкновений частиц, происходящих в ускорителе каждую секунду, достигнет 800 млн. Суммарная энергия сталкивающихся протонов составит 14 ТэВ (тераэлектронвольт), а ионов (ядер свинца) – 5,5 ГэВ (гигаэлектронвольт) на каждую пару сталкивающихся нуклонов. **Нуклоны** (от лат. nucleus – ядро) – общее название для протонов и нейтронов.

Технические характеристики

Светимость БАК во время первого пробега составит всего 1029 частиц/см²·с. Это весьма скромная величина. Однако, после запуска БАК для экспериментальных исследований, светимость будет постепенно повышаться от начальной $5 \cdot 10^{32}$ до номинальной $1,7 \cdot 10^{34}$ частиц/см²·с, что по порядку величины соответствует светимостям современных В-фабрик ВаВаг (SLAC, США) и Belle (КЕК, Япония). Выход на номинальную светимость планируется в 2010 году.

На БАК будут работать шесть детекторов:

- ALICE (A Large Ion Collider Experiment)
- ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)
- CMS (Compact Muon Solenoid)
- LHCb (The Large Hadron Collider beauty experiment)
- TOTEM (TOTAl Elastic and diffractive cross section Measurement)
- LHCf (The Large Hadron Collider forward)

Принцип работы большого адронного коллайдера

В основе работы БАК, как и всех ускорителей, заложено взаимодействие заряженных частиц с электрическими и магнитными полями. Электрическое поле способно напрямую совершать работу над частицей, то есть увеличивать ее энергию. А магнитное поле лишь отклоняет частицу, не изменяя ее энергии, и задает орбиту, по которой движутся частицы.

Всё кольцо коллайдера разделено на восемь равных секторов, на каждом из которых стоят в ряд магниты, управляющие движением пучка протонов. Под воздействием магнитного поля элементарные частицы не улетают прочь по касательной, а остаются внутри кольца. Кроме того, специальные фокусирующие магниты не дают протонам во время движения колебаться в продольном направлении и задевать стенки вакуумной трубы, в которой осуществляется движение.

Всего вдоль туннеля установлено 1624 магнита. Их протяженность в общей сложности превышает 22 км, длина каждого магнита около 15 метров. Магниты используются двух видов – дипольные (1232 шт.) и квадрупольные (392 шт.). Именно дипольные магниты удерживают частицы, тогда как квадрупольные магниты нужны для того, что бы максимально повысить шансы на взаимодействие частиц, которые может произойти в местах пересечения труб. Общий вес одного магнита составляет более 27 тонн.

Для достижения требуемых величин напряженности магнитного поля магниты пришлось делать со сверхпроводящими обмотками. Поэтому для проведения в рабочее состояние их необходимо охлаждать до температуры 1,9 К (или -271,3 градуса по Цельсию). Это ниже, чем температура в открытом космическом пространстве. Чтобы охладить 36 800 тонн конструкции и получить космический холод в земных условиях, для БАК пришлось создать мощнейшую криогенную систему, содержащую более 40 000 герметичных сварных швов, и использующую 10 000 тонн жидкого азота и 130 тонн жидкого гелия.

В четырех местах пучки из двух труб ускорителя пересекаются, и в этих местах происходит столкновение протонов. В этой точке столкновения ожидается температура более чем в 100 тыс. раз выше, чем в центре Солнца, притом, что сверхпроводящие магниты БАКа будут охлаждены до 1,9 К. Так что, можно сказать, БАК – это одновременно и самая горячая, и самая холодная машина в мире.

Столкновение двух частиц «лоб в лоб» – событие довольно редкое. Когда пересекаются два пучка по 100 миллиардов частиц в каждом, сталкиваются всего 20 частиц. Но поскольку пучки пересекаются примерно 30 миллионов раз в секунду, ежесекундно может происходить 600 миллионов столкновений.

При столкновении протонов во все стороны летят «брызги» – элементарные частицы, в среднем их рождается порядка 100 на каждое столкновение. В проекте предусмотрено, что в будущем по тем же трубам будут ускорять не только протоны, но и ядра свинца: в этом случае при каждом столкновении ядер будет рождаться порядка 15 000 новых частиц.

Детектор под название ALICE предназначен для изучения кварк-глюонной плазмы. Детекторы ATLAS и CMS, как надеются физики, смогут «поймать» бозон Хиггса и темную материю. Задача детекторы LHCb – исследование физики b-кварков, что позволит лучше понять различия между материей и антиматерией. TOTEM – для изучения

«несталкивающихся частиц», что позволит точнее измерить размер протонов, и, наконец, LHCf – для исследования космических лучей, моделируемых с помощью тех же «несталкивающихся частиц».

Количество информации, получаемой этими детекторами невероятно велико, к тому же ее требуется передавать во все страны, где работают участники экспериментов. Поэтому в CERNе создается новая система для быстрого распространения огромных массивов данных. Эта система должна будет хранить и обсчитывать данные, получаемые с детекторов ускорителя. Поток данных будет достигать 15 млн. гигабайт в год, что соответствует стопке из 100 тыс. DVD. Вполне возможно, что эта система станет и прообразом нового Суперинтернета, учитывая, что сам Интернет и Всемирная паутина родились, именно в CERNе. Здесь уже в 80-е годы стала насущной задача быстрой передачи больших международных коллективов ученых, разбросанных по всем континентам. В результате в CERNе был впервые создан прототип Всемирной паутины и разработано соответствующее программное обеспечение.

Цели и задачи большого адронного коллайдра

Теоретически, в ходе экспериментов на БАК может быть обнаружена такая легендарная частица как бозон Хиггса. Считается, что именно эта субэлементарная частица, предсказанная теоретически еще в 1960-х гг., наделяет остальные частицы (а с ними – и всю Вселенную) такой фундаментальной характеристикой, как масса. Гипотеза о его существовании настолько логично укладывается в существующие физические теории, что несмотря на то, что «поймать» бозон Хиггса (пока) никак не удастся, ученые уверены в его существовании в рамках Стандартной Модели – одной из базовых концепций современной физики.

Бозон Хиггса – основная цель этого колоссального проекта, но некоторые ученые надеются, что БАК поможет обнаружить и другие теоретически предсказанные экзотические образования. Могут появиться и микроскопические черные дыры (размерами порядка планковских), и магнитные монополи (гипотетические носители магнитного заряда).

В начале XX века в физике появились две основополагающие теории – общая теория относительности (ОТО) Альберта Эйнштейна, которая описывает Вселенную на макроуровне, и квантовая теория поля, которая описывает Вселенную на микроуровне. Проблема в том, что эти теории несовместимы друг с другом. Например, для адекватного описания происходящего в чёрных дырах нужны обе теории, а они вступают в противоречие.

Эйнштейн многие годы пытался разработать единую теорию поля, но безуспешно, поскольку игнорировал квантовую механику. В конце 1960-х физикам удалось разработать Стандартную модель (СМ), которая объединяет три из четырёх фундаментальных взаимодействий – сильное, слабое и электромагнитное. Гравитационное взаимодействие по-прежнему описывают в терминах ОТО. Таким образом, в настоящее время фундаментальные взаимодействия описываются двумя общепринятыми теориями: ОТО и СМ. Их объединения пока достичь не удалось из-за трудностей создания теории квантовой гравитации.

Для дальнейшего объединения фундаментальных взаимодействий в одной теории используются различные подходы: теория струн, получившая своё развитие в М-теории (теории бран), теория супергравитации, петлевая квантовая гравитация и др. Некоторые из них имеют внутренние проблемы, и ни у одной из них нет экспериментального подтверждения. Проблема в том, что для проведения соответствующих экспериментов нужны энергии, недостижимые на современных ускорителях заряженных частиц.

БАК позволит провести эксперименты, которые ранее было невозможно провести и, вероятно, подтвердит или опровергнет часть этих теорий. Так, существует целый спектр физических теорий с размерностями больше четырёх, которые предполагают существование «суперсимметрии» – например, теория струн, которую иногда называют теорией суперструн именно из-за того, что без суперсимметрии она утрачивает физический смысл. Подтверждение существования суперсимметрии, таким образом, будет косвенным подтверждением истинности этих теорий.

При помощи коллайдера ученые надеются больше узнать об элементарных частицах. На практике подтвердить или опровергнуть существующие теории, например, теорию «Большого взрыва». И наконец узнать, откуда же взялась наша вселенная. Этот коллайдер позволит изучать очень важные и абсолютно новые аспекты природы. Поможет ответить

на такие вопросы, как откуда берется масса всяких объектов, нас с вами в том числе? Из чего состоит Вселенная в целом и многое другое. Мы знаем, что на сегодняшний день из известных нам частиц состоит всего 4% вселенной, а остальные 96% – это нечто неизвестное. В экспериментах, которые будут проводиться на этом коллайдере, физики надеются ответить и на эти вопросы. Спектр задач чрезвычайно широк, а исследования эти будут продолжаться предположительно 20 лет.

Детекторы

На ускорителе смонтированы 6 детекторов, 2 из которых «общего назначения», а остальные предназначены для решения строго определенных узких задач. Расскажу о самых важных из них.

1. ATLAS

ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS). Один из двух важнейших и крупнейших детекторов, установленных на БАК: 46 м в длину, 25 м в диаметре, вес 7 тыс. тонн, создан при участии 2 тыс. ученых и инженеров из 165 вузов 25 стран мира. При столкновении пучков протонов может образовываться широкий спектр частиц, попадающих на центр детектора, и обнаружить максимум из них – его задача. ATLAS не сфокусирован на определенном узком процессе и разработан как раз для того, чтобы работать с максимально разнообразным набором частиц. Именно на ATLAS планируется обнаружить бозон Хиггса, изучить взаимодействия частиц с античастицами, уточнить массы кварков и поискать суперсимметричные пары частиц.

2. CMS

CMS (Compact Muon Solenoid). Как и ATLAS, это детектор «широкого профиля», и самый масштабный. 21-метровое устройство весом 12,5 тонн стало результатом сотрудничества 2,6 тыс. ученых из 180 вузов. Его задачи также аналогичны ATLAS – все, что происходит с частицами при экстремальных энергиях.

3. LHCb

Этот детектор предназначен для поиска «красивых» или «нижних» (beauty или bottom, сокращенно – b) кварков и антикварков, чтобы понять, чем обусловлено таинственное отсутствие антивещества во Вселенной. Детектор расположен только по одну сторону от точки столкновения.

4. ALICE

ALICE (A Large Ion Collider Experiment). Этот детектор займется столкновениями ядер атомов свинца. В ходе этого процесса должна появляться кварк-глюонная плазма, особое состояние вещества, которое наблюдается только при экстремально высоких значениях температуры и давления – и считается, что именно оно доминировало в первые мгновения после Большого Взрыва. Свойства кварк-глюонной плазмы и позволит уточнить ALICE.

Потребление энергии

Во время работы коллайдера расчётное потребление энергии составит 180 МВт. Предположительные энергозатраты всего CERNa на 2009 год с учётом работающего коллайдера – 1000 ГВт·ч, из которых 700 ГВт·ч придётся на долю ускорителя. Эти энергозатраты – около 10% от суммарного годового энергопотребления кантона Женева. Сам CERN не производит энергию, имея лишь резервные дизельные генераторы.

Испытания

11 августа 2008 года успешно завершена первая часть предварительных испытаний. Во время испытаний пучок заряженных частиц прошёл чуть более трёх километров по одному из колец БАК. Таким образом, учёным удалось проверить работу синхронизации предварительного ускорителя, так называемого протонного суперсинхротрона (SPS), и системы правой доставки луча. Эта система передаёт в основное кольцо разогнанные пучки таким образом, что они начинают двигаться по кольцу по часовой стрелке. В результате испытаний удалось оптимизировать работу системы.

24 августа прошёл второй этап испытаний. Была протестирована инжекция протонов в ускорительное кольцо БАК в направлении против часовой стрелки.

10 сентября был произведён официальный запуск коллайдера. В 12:24:30 по московскому времени запущенный пучок протонов успешно прошёл весь периметр коллайдера по часовой стрелке. В 17:02 по московскому времени запущенный против часовой стрелки пучок протонов также успешно прошёл весь периметр коллайдера.

12 сентября, примерно в 00:30 по московскому времени, команде БАК удалось запустить и непрерывно удерживать циркулирующий пучок в течение 10 минут. Чуть позже пучок был запущен вновь и циркулировал уже непрерывно, прерываясь лишь в случае необходимости. На этом задача по установлению циркулирующего пучка завершилась, и физики приступили к подробным тестам магнитной системы.

19 сентября, в 14:05 по московскому времени, в ходе тестов магнитной системы сектора 3-4 (34) произошёл инцидент, в результате которого БАК вышел из строя. Согласно данным предварительного расследования, подтверждённым и детализированным позднее, один из электрических контактов между сверхпроводящими магнитами расплавился под действием возникшей из-за увеличения силы тока электрической дуги, которая пробила изоляцию гелиевой системы охлаждения (криогенной системы), что привело к выбросу около 6 тонн жидкого гелия в туннель и, как следствие, резкому росту температуры. Для восстановления криогенной системы потребуется вернуть этот участок ускорителя к комнатной температуре, а после ремонта – охладить его снова до рабочей температуры.

23 сентября официальный представитель CERNa сообщил, что БАК возобновит работу не раньше весны 2009 года. Торжественная церемония его официального открытия, тем не менее, состоится 21 октября, как и планировалось.

16 октября CERN распространил пресс-релиз, в котором описываются промежуточные результаты расследования инцидента, произошедшего 19 сентября.

На следующем этапе испытаний будут производиться одновременные запуски пучков навстречу друг другу, чтобы наблюдать, что происходит при их «лобовых» столкновениях. Затем частицы будут сталкиваться на более высоких энергиях. Выход на энергию 14 ТэВ протон-протонного столкновения намечен на начало 2009 года.

Последствия экспериментов

Основная идея эксперимента состоит в том, чтобы разогнать частицы с ненулевой массой (протоны) до колоссальных скоростей и столкнуть эти частицы друг с другом. Такие соударения ускоренных частиц позволяют моделировать сверхплотные состояния материи. Именно в таких состояниях материя находилась в первые секунды после зарождения Вселенной (Большого взрыва) и именно в таком состоянии материя находится в таких экзотических объектах, как черные дыры.

Чёрная дыра – область в пространстве-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света (в том числе и кванты самого света).

Согласно общей теории относительности Альберта Эйнштейна, гравитация, т.е. взаимное притяжение между всеми материальными телами, – это вовсе не сила, а результат искривления пространства-времени. Чем больше плотность объекта, тем сильнее его гравитационное притяжение, т.е. больше искривление пространства-времени. Вещество в ядрах некоторых коллапсирующих звезд достигает такой плотности, что пространство в их окрестности сильно искривлено. Сильно искривленные области пространства-времени и есть черные дыры.

По мнению сторонников катастрофического сценария, существует принципиальная разница между бомбардировкой Земли космическими частицами и экспериментами на ускорителе. В первом случае сталкиваются прилетающие из космоса ультрарелятивистские (летящие со скоростью, близкой к скорости света) элементарные частицы с элементарными частицами на Земле, скорость которых мала. Образующиеся частицы также являются ультрарелятивистскими и улетают в космическое пространство, не успев причинить Земле никакого вреда. В коллайдере же сталкиваются пучки элементарных частиц, летящие с ультрарелятивистскими скоростями в противоположных направлениях. Образующиеся микроскопические чёрные дыры и другие опасные частицы могут вылетать с любыми скоростями. Некоторые из них будут настолько медленными, что не смогут покинуть Землю.

Основными аргументами противников катастрофы являются:

1) Аргумент: Правило Хокинга (Стивен Уильям Хокинг – это один из наиболее влиятельных и известных физиков-теоретиков нашего времени) (Микроскопическая черная дыра испарится сразу же после появления и не успеет втянуть в себя окружающую материю).

Контраргумент: данное правило для черных дыр (чисто теоретически, в условиях практически полного отсутствия экспериментальных данных о микроскопических черных дырах) основано на теоретических моделях, которые не могут описывать процессы в масштабах Планка (Макс Планк – выдающийся немецкий физик. Он является основателем квантовой теории). Такие правила для черных дыр могут быть обоснованно выведены только в рамках кантовой теории гравитации, которая пока еще практически не разработана.

2) Аргумент: Общие принципы квантовой механики. Согласно им, черная дыра обладает колоссальной массой (энергией) и в силу этого не может быть устойчивой, если только нет законов, которые бы запрещали ее распад. Так как таких законов не установлено, то значит черная дыра неустойчива.

Контраргумент: микроскопическая черная дыра является объектом, относительно которого у нас нет каких-либо экспериментальных данных (в случае космических черных дыр, мы хотя бы можем обоснованно идентифицировать их во вселенной и обрабатывать данные о них), в то же время у нас нет и “хорошей” теории для такого рода объектов в рамках которой, можно было вывести законы ее образования и эволюции (например, квантовой теории гравитации). Значит, экстраполяция на новый класс объектов (черные дыры) правил и законов, установленных для качественно других объектов (элементарных частиц в диапазоне доступных энергий) позволяет в лучшем случае делать предположения относительно свойств нового класса объектов, но уж никак не утверждать, что их поведение будет идентичным “обычным” элементарным частицам.

3) Аргумент: Столкновения частиц как в БАК происходят в верхних слоях нашей атмосферы, когда космические лучи высоких энергий (протоны и более тяжелые атомные ядра с энергиями до 10^9 ТэВ соударяются с атомами атмосферы. Если черные дыры могут образовываться в БАК то тогда в атмосфере земли рождается в среднем до 100 микроскопических черных дыр в год. А так как это не привело к катастрофе, то значит и эксперименты в БАК безопасны.

Контраргумент: соударение частиц в БАК и в атмосфере имеет хотя бы то отличие, что БАК – это экспериментальная установка, в которой специально созданы условия для минимизации рассеяния энергии, т.е. созданы все условия, чтобы энергия разогнанных частиц была сосредоточена именно на столкновении. В то же время, в естественных условиях на частицы таких же энергий действует множество факторов, которые рассеивают их энергии как до, так и в момент соударения. Например, атмосфера сама по себе является открытой неравновесной динамической системой. В верхних ее слоях, которые находятся в ионизированном состоянии, движение частиц чувствительно к результирующему полю создаваемому соседями (плазма). Вторжение в поле заряженной частицы вызовут нелинейные возмущения поля, а значит и частиц ионизированной среды. Такие возмущения могут «смягчать» соударения частиц в атмосфере, рассеивая (ослабляя) энергии соударяющихся частиц. Соударения частиц в атмосфере по своим условиям далеки от соударения их в БАК, т.к. атмосфера – это сложная открытая система, в которой существует множество факторов ослабляющих энергию частиц, а коллайдер – это установка, в которой максимально устранены все факторы, которые могут снизить энергию столкновения частиц. Поэтому, вполне возможно, что в атмосфере вообще не образуются черные дыры, даже если они будут экспериментально обнаружены в коллайдере.

Заключение

Физики смогут понять, в каком направлении надо двигаться, чтобы построить более красивую и более Общую теорию физики, которая будет эквивалентна таким малым пространственно-временным интервалам. Те процессы, которые там изучаются, воспроизводят по сути процесс образования Вселенной, как говорят, «в момент Большого Взрыва». Конечно, это для тех, кто верит в эту теорию о том, что Вселенная создавалась таким образом: взрыв, затем процессы при супервысоких энергиях. Оговариваемое путешествие во времени может оказаться связанным с этим Большим Взрывом.

Как бы там ни было, БАК – это достаточно серьезное продвижение в глубь микромира. Поэтому могут открыться совершенно неожиданные вещи. Скажу одно, что на БАКе могут быть открыты совершенно новые свойства пространства и времени. В каком направлении они будут открыты – сейчас сказать трудно. Главное – прорываться дальше и дальше.