**Большой адронный коллайдер**

**Парфенов К.В.**

Истина Божия едина, как един Бог, источник истины, хотя она многовидна в мире вещественном и духовном. Все роды наук служат единой истине, все, занимающиеся ими, причащаются животворной сердечной радости, которая есть дар всякой истины изыскателям и любителям ее. Все занимающиеся науками с усердием, из любви к истине, … делают дело Божие и имеют свидетельство в своем сердце, в своей совести, что дело их угодно Господу, Начальнику истины.

Святой праведный Иоанн Кронштадтский

Конечно, предмет этой статьи довольно специфичен. Но так уж получилось, что в последнее время вопросы развития экспериментальной техники в физике элементарных частиц широко обсуждаются не только физиками-профессионалами. Высказывается много различных мнений, но нередко при этом «за кадром» обсуждения остаются вопросы наиболее важные: что же такое Большой Адронный Коллайдер (сокращенно БАК, используется также английское сокращение LHC – от Large Hadron Collider), зачем он нужен физикам и насколько он может быть полезен или опасен для человечества. Давайте, уважаемый читатель, постараемся вместе разобраться во всем этом, не прибегая к методам современной физики, привыкшей излагать свои результаты чеканным языком многоэтажных математических формул.

Что же такое БАК? Основной элемент всей установки – это ускоритель частиц. Заряженные частицы набирают энергию, двигаясь в электрическом поле, а для управления направлением их движением используются магнитные поля. Для того, чтобы разогнать частицы очень сильно, их заставляют пройти через область ускорения много раз – поэтому их обычно заставляют двигаться по кругу. Чем быстрее движутся частицы, тем труднее их заворачивать даже с помощью самых сильных магнитов. Поэтому канал ускорения представляет собой огромный кольцевой тоннель. Слово «коллайдер» (от английского “collide” – «сталкивать») попросту означает, что в этом канале разгоняются одновременно до одинаковых энергий два пучка частиц с разными зарядами, которые затем направляются навстречу друг другу. В результате образуется почти покоящийся «сгусток энергии», в котором происходит рождение новых частиц. Для изучения этих частиц используются шесть детекторов. Каждый из них – по сути целый зал, заполненный множеством электронных устройств.

Ни у кого не вызовет никакого сомнения, что БАК действительно «большой». Достаточно просто познакомиться с его техническими характеристиками. Тоннель, в котором смонтирован основной канал ускорения (есть еще три «предварительных» ускорителя меньшего размера) расположен на глубине около ста метров под землей и имеет длину 26, 7 км. Для удержания и фокусировки пучков используется 1624 сверхпроводящих электромагнита. Режим сверхпроводимости необходим, так как в обмотках этих магнитов течет ток до 10000 ампер! Магниты работают при температуре около минус 2710С, которая достигается только в жидком гелии. Поэтому для поддержания работы БАК требуется целая «фабрика» по производству жидкого гелия, которое технически довольно сложно и требует больших расходов энергии. Расчетное потребление энергии коллайдером во время работы составляет 180 миллионов ватт. Для сооружения ускорителя и детекторов потребовалось объединить усилия многих стран и обошлось оно в 4 млрд. евро. Россия принимает в этих работах активное участие.

Знакомство с этими данными сразу порождает желание задать и второй из упомянутых выше вопросов: зачем это нужно? Ради чего расходуются столь значительные материальные ресурсы? Для осмысленного ответа нам следует хотя бы в некоторой степени познакомиться с историей развития и современным состоянием физики элементарных частиц.

«Элементарными» физики традиционно называют частицы, которые мельче атомов и молекул. В начале ХХ века было обнаружено, что атомы состоят из тяжелых ядер и легких электронов, которые удерживаются вблизи ядер благодаря электрическим силам. Далее физики узнали, что ядра состоят из протонов и нейтронов, которые удерживаются вместе благодаря сильному взаимодействию. За это их и подобные им частицы стали называть «адронами» (от др.-греч. «άδρό» - «сильный»). Именно это слово входит в название БАК; таким образом, «адронный коллайдер» - это установка, в которой сталкиваются частицы, участвующие в сильном взаимодействии.

Но на этом путешествие «вглубь материи» не закончилось. В 60-е годы установили, что протоны, нейтроны и прочие адроны сами состоят из более мелких объектов, которые назвали кварками. Всего сейчас известно уже более пяти тысяч адронов, и все они состоят из шести видов (или, как говорят физики, «ароматов») кварков. Эти ароматы физики обозначают первыми латинскими буквами их названий: u (“up”), d (“down”), s (“strange”), c (“charm”), b (“bottom”) и t (“top”). Как видно, при погружении в тайны микромира даже у физиков иногда «захватывало дух». Именно поэтому и возникли в физике столь романтические термины, как «очарованный кварк». Также было обнаружено ровно столько же – шесть – видов («ароматов») частиц, не участвующих в сильном взаимодействии. Их назвали лептонами (от др.-греч. «λεπτόσ» - «легкий»). Одним из лептонов является уже знакомый нам электрон. Другие – это мюон, тау-лептон и три сорта нейтрино.

Итак, наблюдаемый мир выглядит как состоящий из кварков и лептонов. Ясно, что такое «будничное» перечисление фактов не дает представления об огромной работе, потребовавшейся для их установления. Чтобы хотя бы частично возместить этот пробел, рассмотрим масштабы изученных явлений. Размеры атомов и молекул простираются от десятых долей до нескольких десятков нанометров (это одна миллиардная доля метра). Они участвуют в химических реакциях, в которых на каждую молекулу выделяется энергия порядка нескольких десятков электронвольт (один электронвольт – это энергия, которую приобретет электрон при ускоряющем напряжении 1 вольт; именно такую величину принято использовать в качестве единицы энергии в физике микромира). Протоны и нейтроны имеют размеры около одной миллионной доли нанометра, а энергии, выделяющиеся в ядерных реакциях, составляют миллионы электронвольт. Размеры кварков и лептонов заведомо меньше, чем миллионная доля радиуса протона, и в реакциях с превращениями кварков энергии еще в тысячи и миллионы раз больше, чем в ядерных реакциях! При внимательном рассмотрении этой «лестницы» масштабов расстояний и энергий становится заметным важное обстоятельство: чем мельче исследуемый объект, тем более высокоэнергетичные процессы приходится использовать для его изучения. Это как раз и объясняет необходимость использования ускорителей. В ХХ веке для проведения исследований были построены несколько ускорителей, все больших по своим возможностям и размерам. Именно Большой Адронный Коллайдер – наиболее мощный из них. При столкновении двух адронов (протона и антипротона) в БАК высвобождается энергия 14 ТэВ (тераэлектронвольт), то есть 14 триллионов электронвольт. Эта энергия колоссальна с точки зрения «обычных» процессов в микромире. Например, в реакциях термоядерного синтеза, обеспечивающих энергией Солнце, на каждый участвующий в них протон выделяется энергия почти в миллион раз меньше!

В результате сбора информации и тщательного ее анализа физикам удалось построить теоретическую модель, замечательно хорошо описывающую все наблюдаемые явления. Ее назвали Стандартной Моделью (СМ). Мир в рамках этой модели состоит из «материальных частиц» – кварков и лептонов и «частиц-переносчиков», обмен которыми приводит к возникновению взаимодействий. К частицам-переносчикам относятся: фотоны («частицы света»), глюоны (от английского “glue”, именно они «скрепляют» кварки внутри адронов) и бозоны слабого взаимодействия. Все эти частицы движутся в вакууме, который, несмотря на свое название (латинское “vacuum” означает «пустота»), на самом деле есть активная физическая среда, обменивающаяся энергией с частицами. Наиболее удивительная особенность Стандартной Модели – ее симметричность, которую ни в коем случае нельзя нарушать (например, не случайно число «ароматов» кварков и лептонов совпадает). Дело в том, что именно эта симметричность обеспечивает замечательную точность совпадения предсказаний СМ и данных экспериментов. Например, исходя из симметрий электромагнитных и слабых взаимодействий, теоретики предсказали все свойства бозонов и задолго до их экспериментального открытия в 1983 году. Более того, без многих «встроенных» в СМ симметрий теоретические расчеты вообще становятся бессмысленными. Можно сказать, что нарушение симметричности «здания» СМ необходимо приведет к его полному разрушению. Но требование симметричности порождает одну из главных загадок – вопрос о природе массы всех элементарных частиц. Загадка состоит в том, что для работоспособности Стандартной Модели совершенно необходимо, чтобы эти частицы сами по себе массы не имели. Наблюдения же показывают, что масса у них есть. Как же связать одно с другим? Оказалось, что это возможно, если ввести специальное поле, называемое полем Хиггса. Это поле является составной частью вакуума в СМ. «Невесомые» кварки, лептоны, и другие частицы, двигаясь в вакууме, «облепляются» частицами поля Хиггса и становятся массивными. Безмассовыми остаются только частицы, которые не взаимодействуют с полем Хиггса (фотоны и глюоны).

Для более наглядного представления об этом процессе можно воспользоваться следующим образом, предложенным одним из создателей СМ Абдусом Саламом. Допустим, в жаркий день Вы катите тележку с мороженым, которая очень легкая (скажем, почти невесомая). И вдруг Вам приходится провезти ее через большую толпу детей, которым очень хочется мороженого. Несомненно, что Ваша тележка при движении сквозь нее заметно «потяжелеет», так как Вам вместе с ней придется теперь перемещать и какое-то количество детей. Таким образом, «невесомая» тележка «приобретет массу». С помощью представлений о поле Хиггса СМ смогла даже правильно предсказать массы многих частиц. Однако если эта идея верна, то мы должны наблюдать и частицы самого поля Хиггса – так называемые хиггсовские бозоны. Из всех частиц СМ только они до сих пор не обнаружены экспериментально! Масса хиггсовского бозона по оценкам теоретиков должна быть в интервале от 1 до 10 ТэВ. И тут самое время сопоставить это с энергией, достижимой на Большом Адроном Коллайдере. Как видно, этой энергии должно быть достаточно для рождения хиггсовских бозонов!

Подчеркнем, что обнаружение бозонов Хиггса – не просто открытие еще одной из предсказанных СМ частиц. Ситуация для теоретической физики выглядит весьма драматичной: либо они будут найдены, либо придется сделать вывод о необходимости существенного реформирования СМ. Можно описать возникшую ситуацию следующим образом: физика, поднимаясь на новый уровень или, скажем, «этаж» понимания строения мира, дошла почти до конца длинного пролета лестницы. Остается сделать один шаг, чтобы выйти на новую «лестничную площадку», и мы делаем этот шаг. Либо мы выйдем на новый этаж, либо обнаружим, что лестница заканчивается тупиком и здесь нового этажа нет – тогда нам придется вернуться на этаж ниже и начать поиск новой лестницы. Поэтому неудивительно, что поиск бозона Хиггса является первоочередной целью экспериментов на БАК.

Но есть еще одна задача, не менее важная. Теоретики, обсуждая возможное строение мира на еще более малых расстояниях, наметили целый ряд правдоподобных направлений поиска нового в области «нестандартной» физики. Эти поиск единой природы всех взаимодействий, поиск симметрий между частицами материи и частицами-переносчиками, исследование гравитационного взаимодействия в микромире и изучение природы пространства-времени. Сейчас мы не имеем экспериментальной информации о том, какой из путей развития наших преставлений о мире наиболее эффективен. Физики надеются, что на БАК такая информация будет получена. Продолжая предыдущую аналогию, можно сказать, что мы ожидаем увидеть на новом этаже множество дверей, ведущие на разные новые лестницы, и нам необходимо узнать, по какой из них лучше всего продолжить движение.

Кроме того, на БАК можно ставить эксперименты по столкновению тяжелых ядер. Полученная при этом информация может заложить основу для разработки «энергетики XXII века» - более мощной и безопасной, чем энергетика термоядерного синтеза.

Однако насколько безопасны такие масштабные эксперименты? В последнее время БАК приобрел широкую известность из-за выступлений средств массовой информации и некоторых исследователей о возможности глобальных катастрофических последствий пуска коллайдера. Все подобные опасения основаны на «наслаивании» друг на друга нескольких предположений. Во-первых, предполагаются возможности рождения некоторых гипотетических объектов: это микроскопические черные дыры, «зародыши» новых вакуумов, «червоточины» пространства-времени, магнитные монополи и гиперустойчивые ядра с примесью странных кварков («страпельки»). Далее к этим предположениям присоединяются новые – о возможном катастрофическом влиянии этих объектов на Землю. Однако каждое из предположений имеет очень малую вероятность оказаться справедливым. Даже возможность существования всех этих объектов до сих пор не установлена. Кроме того, масштаб энергий БАК не является «критическим» для их рождения, так как для большинства из них требуются энергии во много миллиардов раз больше. Поэтому вероятность рождения этих объектов крайне мала даже с точки зрения теорий, допускающих их существование. В теориях, где такая вероятность несколько выше (но все равно очень мала с «житейской» точки зрения), эти объекты обычно очень нестабильны и исчезают, не успев причинить никакого вреда. Суммируя сказанное, можно сделать вывод о том, что аккуратный теоретический анализ не дает оснований хоть какую-нибудь из «опасностей» считать серьезной. Иногда можно услышать: конечно, вероятность очень мала, но все-таки она не ноль. А вдруг что-то опасное осуществится «по несчастливой случайности»? На самом деле с точки зрения науки процессов с вероятностью ноль вообще практически не существует – все, что мы обычно считаем невозможным, есть с ее точки зрения события «крайне маловероятные». И дело тут в величине вероятности. Например, если посадить шимпанзе за компьютер с текстовым редактором, и она начнет беспорядочно стучать по клавишам, то для ученого существует отличная от нуля вероятность, что сначала она ударит по клавише «Н», за тем «е», затем «пробел» и так далее:

Не мысля гордый свет забавить…, то есть напечатает весь текст «Евгения Онегина», включая утраченную главу. Ясно, однако, что никто не признает такое событие осуществимым.

Помимо теоретических, есть и практические причины не верить катастрофическим ожиданиям. В самом деле, энергии, достигнутые на уже существующих установках (например, «Тэватрон» лаборатории имени Э.Ферми и релятивистский коллайдер тяжелых ионов Брукхейвенской лаборатории), лишь на порядок уступают энергиям БАК. Эта разница существенна с точки зрения поиска бозона Хиггса, но не является очень существенной для упоминающихся «опасных» событий. Если бы они могли происходить на БАК, физики бы обязательно увидели хоть какие-нибудь их проявления на этих установках. Однако ничего похожего не наблюдалось. Кроме того, в просторах видимой части Вселенной немало астрофизических объектов, генерирующих пучки частиц с энергиями, о которых земные экспериментаторы даже и не мечтают. К тому же плотность потока частиц в этих пучках существенно превосходят все, что есть на Земле. Наблюдения за всеми этими явлениями также не обнаруживают признаков рождения катастрофически опасных частиц.

Означает ли это, что шум вокруг опасностей коллайдера поднят зря? Я думаю, что не совсем. С одной стороны, этот пример – скорее успокаивающий. В самом деле, даже приведенное выше перечисление обсуждаемых опасностей ясно указывает на то, что начали их обсуждение сами физики-теоретики. Причем многие из процессов обсуждались еще задолго до того, как проект БАК начали разрабатывать. Таким образом, к этой стороне своих исследований физики отнеслись достаточно ответственно. Но с другой – хорошо, что широкое обсуждение вновь напомнило ученым (и не только физикам) о том, насколько велика может быть (в прямом и переносном смысле) цена их исследований. К сожалению, не всегда в современном мире деятели науки руководствуются «любовью к Истине». Привнесение в науку мотивов корыстолюбие и честолюбия – большая опасность не только для самой науки. Еще большая опасность – использование достижений научного поиска без оглядки на «помехи» в виде моральных норм. Человечество сейчас сталкивается с целым рядом проблем, каждая из которых грозит глобальной катастрофой: экологические кризисы, нарастающая нестабильность мира по отношению к социальным, военным и техногенным катастрофам, процессы деградации в морально-этической сфере. Задача науки – в союзе с Совестью искать пути решения этих проблем и стремиться не добавлять к ним новые.