**Интервью В.А.Рубакова.
Троицкий вариант. Выпуск № 3N (809) 13 мая 2008 г.**

**От Большого адронного коллайдера к бесконечному разнообразию Вселенных**

*О новом адронном суперколайдлайдере, об антропном принципе рассказывает****Валерий Анатольевич Рубаков****, известный российский физик, доктор физико- математических наук, главный научный сотрудник Института ядерных исследований РАН (ИЯИ), действительный член Российской Академии наук.
Беседу вели доктор физико-математических наук, главный редактор "Троицкого варианта"****Борис Штерн****и журналист****Наталия Демина.***

**БШ**: У нас нет четкого плана беседы и ясного представления, куда она должна завести. Начнем с Большого адронного коллайдера (далее LHC - Large Hadron Collider), который должны запустить в этом году. Впечатление со стороны таково, что этот проект, стоимостью миллиарды долларов, прежде всего ориентирован на открытие одной частицы - бозона Хиггса. Насколько эта задача является доминирующей для LHC?

**ВР:** Сейчас между ЦЕРНом, Европейской организацией ядерных исследований, и американской Лабораторией Ферми идет настоящая гонка, кто первым откроет бозон Хиггса. Занятно, что одна из последних технических проблем, с которой столкнулись создатели LHC, связана с тем, что магниты, которые делал для них Фермилаб, оказались с браком. Злые языки говорят, что это было сделано специально, чтобы оттянуть пуск LHC. Я думаю, что вряд ли специально, что это просто инженерный прокол, но факт есть факт. Бозон Хиггса обязательно надо открыть, потому что в действительности мы пока не знаем, какой он на самом деле. Что делает бозон Хиггса? Дело даже не в самой частице, а в хиггсовском поле, которое всем частицам делает массы. Что значит "делает"? Если говорить об аналогиях, то это, на самом деле, очень похоже на эффект Мейсснера в сверхпроводнике.

**БШ:** Пожалуй, не все наши читатели знают, что такое эффект Мейсснера. Наверное, проще объяснить феномен бозона Хиггса, сказав, что вокруг нас не простой вакуум, а однородное ненулевое поле.

**ВР:** Совершенно верно. На самом деле, хиггсовское поле - это такая среда.

**БШ:** Мы живем в ней, но её не чувствуем, правильно?

**ВР:** Нет, мы её ощущаем, потому что у электрона есть масса, у атома есть масса и в этом смысле мы её чувствуем.

**БШ:** Но это уже теоретики догадались, а так бы мы жили и думали, что массы заданы "свыше".

**ВР:** Это так, непосредственно мы хиггсовское поле не ощущаем, но из-за того, что мы живем в этой среде, все мы массивны. Если говорить более корректно, то массивны элементарные частицы, они имеют вес: электрон, мюон и др. Все их массы - результат взаимодействия частиц с полем Хиггса.

**БШ:** Значит, если бы не было этого поля, то все частицы бы разлетелись и не образовывали бы сложные структуры?

**ВР:** Это правильно лишь отчасти. Многие частицы были бы без массы, они летали бы со скоростью света. Например, электроны точно бы летали со скоростью света, как летают фотоны. Протоны и нейтроны были бы массивными, т.к. у протона и нейтрона есть свои механизмы генерации массы. Но из протонов и нейтронов ядра сделаешь, а атомы уже - никак! Нужен электрон, а масса электрона создается благодаря xиггсовской среде. Электрон не улетает из атома именно потому, что он находится в этой среде.

**БШ:** То есть без поля, которого мы не чувствуем, наш мир был бы совсем другим и жить бы в нем мы уже не могли.

**ВР:** Правильно. Хиггсовский бозон, который надо найти, является возбуждением этого поля. Если нужно привести аналогию, то хиггсовскую среду можно сравнить с океаном. Живя в океане, в котором пока нет волн, ты не чувствуешь, не знаешь, что ты находишься в воде, просто живешь и живешь. Когда же возникает волна, начинающаяся в океане после землетрясения, то ты уже чувствуешь, что живешь в некоей среде, а не в пустоте. Образно говоря, xиггсовский бозон - как раз такая волна. Это частица, которая является квантом этого поля-океана. Как электромагнитное поле имеет своим квантом фотоны, так и xиггсовское поле имеет своим квантом xиггсовский бозон. Кстати, хиггсовский бозон был предложен вовсе даже и не Питером Хиггсом, точнее - не одним Хиггсом. Раньше его статьи появилась публи- кация бельгийцев Роберта Браута и Франсуа Энглера, но почему-то в обиход вошел термин "хиггсовский бозон", хотя они предположили су- ществование поля-океана независимо и раньше Хиггса.

**НД:** Кому же дадут Нобелевскую премию?

**ВР:** Если этот бозон обнаружат и организаторы Нобелевской премии решат ее вручить первооткрывателям хиггсовского бозона, то думаю, что её должны дать Энглеру и Брауту вместе с Хиггсом, потому что все знают об их публикации, просто слово "Хиггс" вошло в обиход и является более удобным, коротким термином.

**НД:** Связан ли с Вашим именем какой-то эффект? Существует ли эффект Рубакова?

**ВР:** Был когда-то придуман эффект, который должен наблюдаться во взаимодействиях с магнитными монополями, но монополи экспериментально не обнаружили. Мы с Борисом и Игорем Железных даже статью о поиске этого эффекта написали давным-давно. Кстати сказать, идея о существовании элементарного хиггсовского бозона - это лишь одна из идей, одна из возможностей. Но не обязательно, что в природе всё именно так, мы пока не знаем, каким образом у элементарных частиц появляются массы.

**БШ:** Вот! Именно это я и хотел спросить. Вдруг массы действительно как бы заданы "свыше"?

**ВР:** Нет, не свыше. В природе обязательно должен существовать механизм, который обеспечивает генерацию масс. Этот механизм обязательно должен существовать, но он не обязательно должен быть таким, каким его предложили Браут, Энглер, Хиггс и еще несколько исследователей, работавших над этой проблемой. Может быть, ситуация более сложная и напоминает физику сильновзаимодействующих частиц - адронов, там тоже протон имеет массу, но за счет совершенно другого механизма. Протон имеет массу независимо ни от какого поля Хиггса.

**БШ:** Ну да, это каша, рой быстро движущихся сильно связанных частиц, которые сами по себе могут быть и безмассовыми...

**ВР:** Да, именно так, за счет того, что они сильно взаимодействуют. Так вот, хиггсовский механизм, в принципе, тоже может возникать благодаря сильно взаимодействующей "каше", которая сильно нелинейная, сильно квантовая, во взаимодействиях с которой генерируются массы у наших элементарных частиц. Такие модели есть, и они вполне работоспособны, в них хиггсовская частица больше похожа на пи-мезон, чем на элементарную частицу. Мезон - составная частица, состоящая из кварков.

**БШ:** А зачем тогда нужен бозон Хиггса?

**ВР:** Все равно существует возбуждение, проистекающее из сложной динамики, т.е. обладающее более сложными свойствами, чем элементарный хиггсовский бозон. Такое возбуждение есть; возможно, оно имеет другие свойства по сравнению с тем, что мы привыкли называть хиггсовским бозоном. Однако это - возбуждение, все же похожее в некотором смысле на хиггсовский бозон. Должен быть механизм, должна существовать какая-то частица или частицы, а может быть, и много разных частиц…

**БШ:** Но к диапазону энергий LHC они уже не будут иметь отношения?

**ВР:** Обязательно будут! Они должны быть в том же диапазоне масс. Масштаб масс задается масштабом масс известных нам частиц. Наибо- лее тяжелая из известных частиц - это топ-кварк, у нее масса - 172 ГэВ, энергия покоя, если говорить более точно. В 200 раз тяжелее протона. Есть электрослабый масштаб взаимодействий 247 ГэВ. Все массы известных нам частиц ему пропорциональны, с ним связаны, за исключением протона с нейтроном. А элементарные частицы, включая топ-кварки, обеспечены массой пропорционально этому масштабу. Этот масштаб в 247 ГэВ дает всем частицам пропорциональную ему массу, кому побольше, кому поменьше. И масса хиггсовского бозона или того, что его заменяет, его аналога, определяется этим масштабом, т.е. это 100, 200, 300 ГэВ. Где-то тут, не выше. Поэтому, конечно, это область работы для LHC. Так что LHC обязательно что-то найдет.

**НД:** А когда он будет введен в действие?

**ВР:** В этом году планируется сделать первый пробный запуск LHC. Но настоящая исследовательская физика начнется только в следующем году. Если быть оптимистом, то в следующем году уже будут какие-то сенсации, а если быть пессимистом, то на это потребуется еще пять лет работы. Это очень зависит от того,что же на этом масштабе энергий на самом деле имеется. И очень может быть, что там на самом деле имеется что-то другое. Вообще интерес к LHC связан в первую голову даже не с хиггсовским бозоном. Если хиггсовский механизм работает так, как описано Браутом, Энглером и Хиггсом, тоэто в каком-то смысле тривиальная вещь, полезная, важная и всё такое, но тривиальная, потому что это самый простой механизм, который дает массы, самый простой, какой можно придумать. Но очень может быть и, скорей всего, так оно и есть, что в этой области энергий существует целая новая область физики. Либо связанная буквально с генерацией масс, либо не прямо связанная с ней, но есть много теоретических соображений, которые говорят о том, что дело не ограничится одним хиггсовским бозоном. Здесь есть разные гипотезы, разные точки зрения, кто-то скажет по-другому, но большинство физиков согласны с тезисом, что одним бозоном Хиггса дело не ограничится. Очень популярна сейчас версия суперсимметрии, это новый тип симметрии, который в природе еще не был обнаружен. Чисто математически это очень красивая симметрия, да и физически она очень интересна. Теория суперсимметрии обладает рядом замечательных свойств, позволяющих устранить всякие несуразицы, которые есть в современных описаниях, в том числе хиггсовского механизма. Пока эти несуразицы чисто вкусовые, в них пока нет реальных противоречий, но гипотеза о суперсимметрии сейчас очень популярна. С точки зрения наблюдения и эксперимента, суперсимметрию можно пояснить следующим образом. У каждой известной нам частицы должен быть партнер, причем, как правило, не один. У электрона должно быть два партнера, с таким же зарядом, с такими же свойствами, как у электрона, кроме нескольких. В первую очередь различаются массы частиц, они должны быть более тяжелые, и у них должен быть другой спин. Все остальные свойства - как у электрона. Каждой частице, которая есть в природе, каждому кварку, электрону, мюону, каждому нейтрино, фотону должна соответствовать своя частица. Такой громадный зоопарк частиц.

**БШ:** Какие именно несуразицы помогает устранить суперсимметрия?

**ВР:** Если говорить на более техническом языке, то это помогает в продвижении к решению одной проблемы. В природе есть очень разные энергетические масштабы. Например, масштаб гравитационного взаимодействия, если его выражать в терминах энергии, на 17 порядков, в 1017 раз, больше, чем масштабы, которыми оперирует физика элементарных частиц. 17 порядков разницы! Когда исследователь начинает задумываться над тем, почему существует такая разница в масштабах, то ему становится не по себе, откуда же взялось такое "безобразие"? И как раз суперсимметрия позволяет объяснить, почему имеется такая гигантская разница в масштабах. Эта разница тоже, между прочим, очень существенна для нашего с вами существования. Если бы гравитационные взаимодействия были такие же сильные, как все остальные, то нас бы давно уже тут не было, мы бы уже давно схлопнулись в шарик размером с воробьиное яйцо, а может быть, и еще меньше. Поэтому для нас с вами очень важно, что есть такая гигантская разница в масштабах. И суперсимметричная теория позволяет объяснить эту разницу. Это одна из причин, почему физики любят суперсимметрию. Вообще-то теоретики в некотором смысле находятся сейчас в растерянности. Потому что куда ни кинь, везде клин. Та же теория суперсимметрии уже настолько сильно ограничена существующими экспериментальными данными, что для неё почти не остается места. Хотя пока можно найти уголочки, где она все еще не противоречит эксперименту, и пытаться подгонять туда параметры.

**БШ:** Т.е. экспериментаторы давно должны были обнаружить частицы, существование которых предсказывают теоретики суперсимметрии?

**ВР:** Да, они должны были бы увидеть эти частицы на LEP, на предыдущем ускорителе в ЦЕРНе, если всё организовано случайным образом, без подгонок параметров. Среди теоретиков есть такой термин "парадокс LEP": суперсимметрию должны были бы увидеть на LEP, но не увидели, и это загоняет суперсимметрию в угол.

**НД:** А если сейчас и на LHC не увидят…

**ВР:** А если и на новом коллайдере её не увидят, то всё, конец поискам суперсимметрии. Это значит, что суперсимметрии нет, по крайней мере в том варианте, в котором её обсуждают. Но это не обязательно будет означать, что, кроме бозона Хиггса, в области энергий LHC ничего нет. Есть разные взгляды на это дело, есть разные модели, люди придумывают разные теоретические механизмы, которые могли бы отвечать за иерархию масштабов, о которой мы говорили. Так что сейчас очень интересная ситуация. Она интересна даже чисто психологически. Мне пока не повезло в жизни, все открытия, которые происходили за последние лет 30, все они были запланированы…

**НД:** Скучновато получается?

**ВР:** Конечно, скучно! Вся существующая теория была сформулирована где-то в начале 1970-х годов, и она только подтверждалась. Всё, что там предсказывалось, всё и обнаружилось, за исключением хиггсовского бозона.

**БШ:** А если сейчас бозон Хиггса не обнаружат, вот будет интересно…

**ВР:** Там будет что-нибудь другое, пустоты там точно не будет!

**БШ:** Когда проектировали суперколлайдер в Америке (впоследствии проект был закрыт), то говорили "пустынный ускоритель", не в том смысле, что он находится в пустыне, а в том, что он залезает в великую энергетическую пустыню. Сейчас же она оказалась заполнена новыми предсказываемыми частицами. Поменялись взгляды?

**ВР:** Нет, хиггсовский бозон был предсказан еще тогда. Просто тогда существовал такой модный взгляд, что хиггсовский бозон действительно есть, а дальше по энергиям пустота, ничего больше нет. Но всё это с тех пор довольно сильно поменялось, и на то есть всякие причины, теоретические, экспериментальные, и теперь такой пустынный взгляд уже не кажется актуальным и правдоподобным. Сейчас, наоборот, физики полны оптимизма, думают, что на LHC должно открыться что-то совершенно новое. Если откроют суперсимметрию, то будут много лет разбираться, что есть что. Если обнаружатся какие-то совсем новые частицы, то будет еще больше интересного. Что-то новенькое обязательно должно быть. Хотя есть и пессимисты. Несколько лет назад я поспорил с моим коллегой Михаилом Шапошниковым. Наш спор был таким: отроют ли на LHC что-нибудь новенькое или нет? Он считал, что нет. А я сказал, что да. На что мы поспорили, я уже забыл, у нашего коллеги Леонида Безрукова лежит бумажка, на что мы поспорили, он был свидетелем нашего спора.

**БШ:** Михаилу так только кажется, или у него есть основания для подобных рассуждений?

**ВР:** У него есть основания, и не беспочвенные. И ключевые слова в этих сомнениях - это "иерар- хия масштабов". Как мы говорили, большинство физиков предполагает, что кроме бозона Хиггса есть еще что-то новенькое, потому что нужно объяснить иерархию масштабов известных нам слабых взаимодействий и гравитационных. Но на это дело можно взглянуть и следующим образом. Господа, иерархия иерархией, но ведь есть гораздо большая иерархия. Есть иерархия между громадным планковским масштабом в 1019 ГэВ, на 17 порядков большим, чем масштаб слабого взаимодействия, и масштабом темной энергии, космологической постоянной.

**БШ:** О, да!

**ВР:** Там масштаб энергий 0.001 электроновольта.

**БШ:** Это сколько же порядков?

**ВР:** По отношению к слабому взаимодействию это 14 порядков, а по отношению к гравитационному - это 31 порядок. Масштаб темной энергии - ее еще называют космологической постоянной - безумно маленький - одна тысячная электронвольта. И пока нет идей, как объяснить такую гигантскую иерархию. Какие-то мысли на эту тему есть, но все построения пока очень искусственные. Никакая суперсимметрия здесь не поможет. Вот Михаил и говорит: зачем нам беспокоиться о том, что есть различие в масштабах, есть оно и есть, ничего не сделаешь, се ля ви. А если встать на такую точку зрения, то действительно ничего, кроме бозона Хиггса, и не нужно. И у него даже есть модель, где он объясняет существование темной материи без всякого специального механизма. Там сколько угодно тонких подгонок параметров. Он говорит: "Это я разрешаю".

**БШ:** Он, вероятно, имеет в виду антропный принцип?

**ВР:** Да, антропный принцип. НД: Поясните, пожалуйста, что такое антропный принцип.

**ВР:** Сейчас антропный принцип особенно часто обсуждается. Люди давно уже о нем говорили, но сейчас он всплыл как раз в связи с космологической постоянной. С тем, что у Вселенной есть темная энергия, а энергетический масштаб этой темной энергии безумно маленький по отношению к чему бы то ни было - одна тысячная электронвольта. Казалось бы, нелепая цифра, но она есть. Измеренная плотность характеризуется именно таким масштабом энергии. Постольку поскольку непонятно, как это объяснить, то появилась идея: давайте предполагать, что Вселенная очень большая, что она на многие-многие порядки больше, чем та часть, которую мы видим, или же Вселенных очень много. Слова "в разных частях огромной Вселенной" или "в разных Вселенных" - это в общем-то терминологическая разница, а по существу одно и то же. Согласно антропному принципу, в разных частях Вселенной физические законы разные! Все параметры разные; например, в одном месте гравитационная постоянная одна, а в другом - другая. Космологическая постоянная - одна, а в другом - другая. Можно придумать модели, где эта зависимость от положения во Вселенной, и правда, возможна. Ладно, если ты такое сказал, то после этого можно задать себе вопрос: "Находимся ли мы в случай- ном месте во Вселенной или нет?" Ответ: нет, не в случайном: мы находимся там, где мы можем находиться! Где физика такая, что мы можем существовать.

**НД:** Это же тривиально. Мы там, где мы есть.

**ВР:** В каком-то смысле да. Мы живем на Земле, а не в произвольном месте в космосе. Мы живем на земле, а не под землей. Почему? Потому что там жить невозможно. Так же и здесь, мы живем в таком месте гигантской Вселенной, где есть подходящие для этого условия. Какие же это условия? Например, космологическая постоянная, темная энергия. Если бы она была хотя бы в 100 раз больше, то нас бы тут не было.

**БШ:** Разнесло бы всё к черту!

**ВР:** Да, разнесло бы. Всё вещество разлетелось бы еще до того, как сформировались звезды, галактики. Вот вам объяснение, почему космологическая постоянная такая маленькая: потому что мы живем там, где она маленькая, а иначе мы бы жить не могли. Это и есть антропный принцип, но примененный к космологической постоянной. Его можно расширять, говорить о том, какие мы могли бы быть. Могли бы мы жить там, где гравитационный масштаб и масштаб слабого взаимодействия не различаются на 17 порядков, а близки друг к другу? Нет, не могли бы. Мы бы давным-давно свалились в черные дыры.

**БШ:** А если бы гравитация была еще слабее, то и звезд бы не было.

**ВР:** На самом деле, в природе есть очень жестко заданные вещи, и если начать думать в эту сторону, то открывается множество чудесных, удивительных вещей. К примеру, известно, что протон легче нейтрона. Это полезно. Полезно почему? Потому что протон не распадается. Нейтрон тяжелее протона, он распадается на протон, электрон и антинейтрино. Нейтрон нестабильный, а протон стабильный, потому что он легче, чем нейтрон. Если было бы наоборот, то протон был бы нестабильный, а нейтрон был бы стабильный. Из нейтрона атома не сделаешь, тогда не было водорода, а думается, что водород иметь не вредно. Во всяком случае, та жизнь, которую мы знаем, в своей заметной части зависит от того, что есть такой атом. Еще один потрясающий момент. Нейтрон тяжелее протона, но не на много, что тоже очень ценно. Потому что если бы он был заметно тяжелее, чем протон, то все ядра давным - давно бы распались. Если ты сделаешь хотя бы 10 МэВ разницы между электроном и протоном, т.е. увеличишь существующую между ними разницу в массах всего в 10 раз, то всё! Нейтроны в ядрах распадутся, у них же энергия связи ерундовая! А протоны, как известно, не образуют ядра из-за электростатики. Нет ядер, состоящих только из протонов. В этом случае не было ядер вообще. Всё! Никаких химических элементов, кроме водорода! Вот какая тонкая взаимосвязь существует в нашей части Вселенной, какая тщательная подгонка идет между элементарными частицами. Эта связь, на самом деле, очень тонкая, по очень разным параметрам, которые мы считаем фундаментальными: это и массы кварков, и электромагнитная константа, и слабая константа, и определяющий массу кварков хиггсовский масштаб.

**БШ:** Тогда я спрашиваю: есть ли механизм случайной генерации этой константы, или она задана одинаково для всех Вселенных?

**ВР:** Нет, она не обязана быть одинаковой, отнюдь! Так же, как космологическая постоянная может быть разной в разных частях Вселенной, так и слабая константа запросто может быть разной в разных частях и в разных Вселенных!

**БШ:** Про космологическую постоянную мы просто ничего не знаем.

**ВР:** Про слабую константу мы тоже мало чего знаем, для нас это пока лишь параметр, число, и это число вполне может быть разным в разных частях Вселенной, и думается, что есть теория, которая отвечает за это. Более того - но это, правда, отдельный разговор, - в теории струн ровно так и происходит. На самом деле, будет очень интересно, если LHC не обнаружит ничего, кроме хиггсовского бозона. На мой взгляд, это будет очень сильным аргументом в пользу антропного принципа. Аргумент в пользу того, что он работает на том уровне познания, которого мы достигли, что это действительно работающий принцип, потому что если ничего нового не обнаружится, то непонятно, как еще можно объяснить, почему слабый масштаб такой маленький по сравнению с гравитационным. Когда на LHC весь диапазон доступных ему энергий будет пройден и там не обнаружится ничего, кроме хиггсовского бозона, то, ничего не сделаешь, придется говорить, что работает антропный принцип.

**НД:** Нужна ли физикам гипотеза Бога? Может создаться впечатление, что антропный принцип очень хорош для священников, они послушают Вас и скажут: вот видите, Бог создал Вселенную для человека.

**ВР:** Нет, эта гипотеза совершенно не нужна. В древние времена или чуть позже антропный принцип действительно формулировался именно в том смысле, что господь Бог создал для нас правильные условия. На самом деле, достаточно естественнонаучного объяснения, не требующего никакой такой гипотезы о божественном происхождении мира.

**БШ:** В данном случае Бог заменяется бесконечным числом попыток Природы сотворить разные Вселенные.

**ВР:** Причем эти попытки существует без всякого Бога, и можно представить себе на уровне формул, как они могли быть реализованы. Господь Бог здесь совершенно не нужен.

**НД:** Альберт Эйнштейн же говорил, что Бог не играет в кости.

**ВР:** Бог не играет в кости, а антропный принцип говорит совершенно обратное: накидано столько костей, что в одной из частей Вселенной появились люди.

**БШ:** Известны же теоретические механизмы кидания костей.

**ВР:** Да, более того, есть суперструнная теория, которая именно об этом и говорит. В ней получается, что возможных физик, которые могут существовать в разных частях Вселенной, безумно много. Согласно этой теории существует гигантское количество вакуумов, гигантское количество стабильных, очень долго живущих состояний с очень разными свойствами. Причем настолько гигантское, что некоторые ученые проводят расчеты количества этих вакуумов. Возникла даже некая статистическая деятельность, ведутся споры, кто больше вакуумов насчитает. По одной из оценок, число возможных вакуумов 10500 - можете ли вы это себе представить?

**БШ:** 10500 берется из комбинаторики?

**ВР:** Да. И это такое безумное число, что туда можно вложить всё, что угодно. Там можно получить любые параметры, любые иерархии. Простор для действия антропного принципа!

***P.S.*** *Часто бывает, что через некоторое время после разговора видишь, что упущено что-то важное. В этом разговоре мы упустили одну простую метафору, показывающую, как именно Природа "бросает кости". Это на научном языке называется "спонтанным нарушением симметрии" и происходит в первые мгновения существования Вселенной, когда вакуум испытывает фазовый(ые) переход(ы). Это очень похоже на замерзание пленки воды на стекле: при температуре выше нуля пленка однородна, при замерзании образуется красивый и совершенно непредсказуемый узор. При фазовом переходе вакуума образуется "узор" из разных вариантов физики: наборов частиц, их масс, констант взаимодействия и даже числа пространственных измерений. Потом Вселенная раздувается на много порядков, так, что в пределах горизонта она оказывается совершенно однородной.*

***Б.Ш.***