

Предисловие переводчика

Нижеследующий текст нобелевского лауреата по физике Стивена Вайнберга нельзя считать ни научной, ни научно-популярной статьей. Это, вероятно, слегка отредактированная запись живой беседы Вайнберга с коллегами-физиками. Вот почему многое производит впечатление недосказанности и непонятности (круг его слушателей был таков, что ни формальных, ни популяризаторских разъяснений делать было не нужно – его понимали «с полуслова»). Это затрудняет чтение. Но – что гораздо более важно! – свидетельствует о том, что фундаментальное в эвереттике понятие Мультиверса (многомирия) настолько общеизвестно в среде физиков-профессионалов, что уже даже не требует приоритетной ссылки на его автора – Хью Эверетта.

Более того, открывающиеся в струнных теориях новые аспекты этого понятия (так называемый «струнный ландшафт» огромного числа физических вакуумов), демонстрируют, что физическая эвереттика развивается «по восходящей».

Тем более важным представляется развитие эвереттики *вне* чистой физики – в философии, истории, литературе и других гуманитарных сферах познания. И потому представляет интерес появление новых исследовательских групп, развивающих этот мировоззренческий взгляд. В частности, появление МЦЭИ (Международного Центра Эвереттических Исследований <http://www.everettica.org>) характеризует новый этап интеграции такого рода исследований – включение в них русскоязычной диаспоры.

Переводчик благодарит за весьма плодотворную помощь в редактировании текста к.ф.-м.н. Амнуэля П.Р. и д.ф.-м.н. Ильичева Л.В. Оригинал статьи расположен здесь <http://arxiv.org/abs/hep-th/0511037>

Ю.А.Лебедев

Образ жизни в Мультиверсе

Семинар на Симпозиуме "Ожидания Окончательной Теории" в Тринити-Колледж, Кембридж, 2 сентября 2005; будет издано в сборнике "*Вселенная или Мультиверс*", редактор Б.Карр (Издательство Университета Кембриджа).

Стивен Вайнберг

Отдел Физики, Университет Штата Техас в Остине

Большинство достижений в истории науки относится к открытиям о природе, но в некоторых поворотных моментах мы сделали открытия о науке непосредственно. Эти открытия ведут к изменениям в том, как мы добиваемся успеха в нашей работе, в том, что мы считаем приемлемой теорией.

Для примера бросим взгляд в прошлое на открытие, сделанное ровно сто лет назад. Как Вы помните, до 1905 года были осуществлены многочисленные неудачные попытки обнаружить изменения в скорости света из-за движения Земли через эфир. Эти попытки делались Фитцджеральдом, Лоренцом и другими, для построения такой математической модели электрона (представлявшегося тогда главным элементом всей материи), которая объяснит, какие законы принять для перемещения сквозь эфир таким образом, чтобы сохранить очевидное постоянство скорости света. Эйнштейн вместо этого предложил принцип симметрии, в соответствии с которым не только скорость света, но и все законы природы не изменяются при преобразованиях в рамках, охватывающих равномерное движение. Лоренц ворчал, что Эйнштейн просто постулировал то, что он и другие пытались доказать. Но история была на стороне Эйнштейна. Специальная Теория Относительности 1905 года была началом общего принятия принципов симметрии как действительного основания для физических теорий.

Это было непосредственное изменение в самой науке, сделанное Специальной Теорией Относительности. С определенной точки зрения Специальная Теория Относительности не была какой-то большой вещью - она только заменила одну 10-параметрическую пространственно-временную группу симметрии, группу Галилея, на другую 10-параметрическую группу, группу Лоренца. Но никогда прежде принцип симметрии не применялся для легитимации гипотезы, на которой основывается физическая теория.

Как обычно случается в такого типа революции, достижение Эйнштейна повлекло за собой отступление в другом направлении: усилия построить модель электрона были приостановлены на многие десятилетия. Вместо этого принципы симметрии все более и более становились доминирующей основой для физических теорий. Эта тенденция усилилась после появления квантовой механики в 1920-х годах, потому что отбор на основании принципов симметрии в квантовых теориях налагает очень строгие ограничительные условия на физически приемлемые теории (существование античастиц, связь между спином и статистикой, аннулирование бесконечностей и аномалий). Наша существующая Стандартная Модель взаимодействий элементарной частицы может быть расценена просто как следствие некоторого критерия симметрий и связанных с ними квантовомеханически согласованных условий.

Развитие Стандартной Модели не привнесло никаких изменений в нашу концепцию того, что является приемлемым, как основание для физических теорий. Действительно, Стандартная Модель может быть расценена только

как расширенный вариант квантовой электродинамики. Усилия, направленные на то, чтобы расширить Стандартную Модель для описания гравитации, привели в свое время к широко распространенному интересу к струнной теории, и потому мы ожидали увидеть успех или неудачу этой теории на том же пути, что и в случае Стандартной Модели: струнная теория имела бы успех, если бы ее принципы симметрии и согласованность условий привели к успешному предсказанию свободных параметров Стандартной Модели.

Теперь мы, может быть, находимся в новой поворотной точке, и радикальная перемена может состоять в том, что именно мы принимаем как легитимную основу для физической теории. Нынешнее возбуждение, начавшееся в 2000 году, конечно же, является следствием открытия в работе Буссо и Полчински (1), огромного числа решений струнной теории. Шесть компактифицированных измерений в теории струн Типа II, обычно имеют большое количество (десятки или сотни) топологических связей (3-циклов), каждая из которых может пронизываться разнообразием потоков. Логарифм числа допустимых множеств значений этих потоков пропорционален числу топологических связей. Далее, в каждом множестве потоков любой из них получает свою, отличную от других, эффективную полевую теорию для модульных параметров, которые описывают компактифицированное шестимерие, и для каждой эффективной полевой теории число местных минимумов потенциала для этих параметров снова пропорционально числу топологических связей. Каждый локальный минимум соответствует вакууму возможной устойчивой или метастабильной вселенной.

Последующие работы Гиддингса, Качру, Калоша, Линде, Малоня, Полчински, Сильверстейна, Штромингера и Триведи (в различных комбинациях авторов (2)) установили существование большого количества вакуумов с положительной плотностью энергии. Эшк и Дуглас (3) оценили, что число этих вакуумов должно быть порядка от 10^{100} до 10^{500} . Сусскинд (4) дал этому разнообразию вакуумов название "струнный ландшафт", заимствовав его в биохимии, где возможные выборы ориентации каждой химической связи в больших молекулах ведут к обширному числу возможных конфигураций. Если не найдется причин отклонить все кроме нескольких, струнные теории вакуума, мы должны будем согласиться с тем, что большая часть того, что мы надеялись вычислить – параметры окружающего мира, такие, как расстояние от Земли до Солнца – это величины, которые мы никогда не будем способны вывести из первых принципов.

Что-то мы проигрываем, а что-то выигрываем. Большое число возможных значений физических параметров, обусловленное струнным ландшафтом, множество струнных теорий легитимируют антропные рассуждения, как новое основание для физических теорий: любые ученые, которые изучают природу, должны жить в той части ландшафта, где физические параметры

имеют значения, подходящие для появления жизни и ее развития вплоть до появления этих ученых.

Очевидно, успешный пример антропного рассуждения был уже под рукой ко времени, когда был открыт струнный ландшафт. В течение многих десятилетий значение величины вакуумной энергии ρ_v представлялось чем-то чрезвычайно странным. Квантовые флуктуации в известных полях при хорошо изученных энергиях (скажем, меньше чем 100 ГэВ) дают величину ρ_v большую, чем допускают наблюдения, в 10^{56} раз. Этот вклад в вакуумную энергию мог бы быть отменен квантовыми флуктуациями более высокой энергии, или просто включением подходящей космологической постоянной в уравнения поля Эйнштейна, но аннулирование должно быть точно на 56 десятичных позиций. Никаких аргументов симметрии или механизмов регулирования для объяснения такого аннулирования не находилось. Даже если бы такое объяснение могло бы быть найдено, не было никакой причины предполагать, что остающаяся чистая вакуумная энергия будет сопоставима с *существующей* величиной плотности материи, и так как она определённо не может быть много больше последней, было естественно предположить, что плотность вакуумной энергии ещё гораздо меньше, и столь мала, что не может быть обнаружена.

С другой стороны, если в Мультиверсе ρ_v имеет широкий диапазон значений, то для ученых естественно оказаться в подвселенной, в которой ρ_v имеет значение, подходящее для появления этих ученых. Я указал в 1987, что эта величина для ρ_v не может быть слишком большой и положительной, потому что тогда не могли бы сформироваться галактики и звезды (5). Грубо, этот предел таков, что ρ_v должно быть меньше, чем массовая плотность вселенной во время, когда происходит начальное формирование галактик. Поскольку это было в прошлом, когда массовая плотность была больше, чем в настоящее время, антропный верхний предел на вакуумную плотность энергии является большим, чем существующая массовая плотность, но не на много порядков большим.

Но антропные аргументы обуславливают не только границы значения ρ_v - они дают нам некоторую идею относительно самого значения, которое ожидается для этой величины: ρ_v должна не очень отличаться от средней величины, подходящих для жизни. Это - то, что Виленкин (6) называет "принципом посредственности". Величина ρ_v положительна, потому что если бы она была отрицательной, это дало бы абсолютную величину значения массовой плотности вселенной, меньшую, чем её массовая плотность, необходимая для времени развития жизни, и вселенная сколлапсировала бы прежде, чем в ней появились какие бы то ни было астрономы (7), в то время как если ρ_v положительна, (она только должна быть меньше, чем массовая плотность вселенной во время формирования галактик), получается намного более широкий диапазон

возможностей. В 1997-8 гг. Мартел, Шапиро и я (8) выполнили детальное вычисление распределения вероятности значений ρ_V , рассматриваемых астрономами для Мультиверса в целом, исходя из предположения о том, что *априорное* распределение даёт равные вероятности для значений из относительно очень узкого диапазона, допускаемого антропными соображениями. В то время величина изначального незначительного среднеквадратического колебания плотности σ не была известна достаточно хорошо, так как значение, выведенное из наблюдений космического микроволнового фона, зависело от значения, принимаемого для ρ_V . Поэтому было невозможно вычислить среднюю ожидаемую величину ρ_V , но для любой принятой величины ρ_V мы могли оценить σ и использовать результат, чтобы вычислить долю астрономов, которые смогут наблюдать это (а также меньшие) значения ρ_V . Используя этот способ, мы заключили, что если Ω_Λ окажется намного меньше, чем 0.6, антропные соображения не смогут объяснить, почему оно настолько маленькое. Редактор Астрофизического Журнала возразил против публикации статьи об антропных вычислениях, и мы должны были сами продвигать ее, исходя из той точки зрения, что в этой работе мы нашли сильный довод, чтобы сохранить антропное объяснение малой величины ρ_V , если она окажется столь маленькой.

В конце концов оказалось, что ρ_V не является слишком маленькой величиной. Вскоре после этой работы те наблюдения сверхновой типа Ia, которые показали, что расширение вселенной ускоряется (9), дали результат для $\Omega_V \cong 0.7$. Другими словами, отношение вакуумной плотности энергии к существующей массовой плотности ρ_{M_0} в нашей подвселенной (которое я использую также в качестве удобной меры плотности), приблизительно равно 2.3. Это заключение впоследствии было подтверждено наблюдениями микроволнового фона (10).

Это все еще немного маловато, Мартел, Шапиро и я нашли, что вероятность столь малой вакуумной плотности энергии равна 12 %. Теперь я повторно вычислил распределение вероятности, используя данные WMAP и лучшую передаточную функцию, так что в итоге вероятность случайного появления астронома, видящего значения меньше, чем $2.3 \rho_{M_0}$, увеличена до 15.6 %. Теперь, зная σ , мы можем также вычислить и то, что средняя вакуумная плотность энергии составляет $13.3 \rho_{M_0}$.

Я должен упомянуть одно осложнение в этих вычислениях. Среднее значение произведения флуктуаций плотности в различных точках становится бесконечным, как только эти точки приближаются друг к другу, так что среднеквадратическое значение флуктуации плотности σ фактически бесконечно. К счастью, само значение σ непосредственно не нужно в этих вычислениях, а нужно среднеквадратическое колебание

плотности, усредненное по сфере достаточно большого переменного радиуса R , взятого так, чтобы колебание плотности было способно эффективно поддерживать количество тяжелых элементов, производимых в первом поколении звезд. Результаты, упомянутые выше, были рассчитаны для спроецированного на настоящее R , равное 2 Mpc . Эти результаты довольно чувствительны к величине R ; для $R=1 \text{ Mpc}$, вероятность обнаружения вакуумной энергии меньшей, чем $2.3 \rho_{M_0}$, составляет только 7.2 %. Оценка требуемой величины R привлекает более сложную астрофизику и требует лучшего понимания.

Теперь я хочу поднять четыре проблемы, с которыми мы столкнемся при разработке антропных следствий струнного ландшафта.

1. Какова картина струнного ландшафта?

Дуглас (11) и Дин (12) и их сотрудники сделали первые шаги в обнаружении статистических правил, управляющих различными струнными вакуумами. Я не могу комментировать, насколько эти правила успешны, но хочу сказать, что если бы мы знали, на основании какой теории струн они работают, это не повредило бы им в их работе.

2. Какие нужно рассматривать константы?

Антропное рассуждение имеет смысл для данной константы, если диапазон, в котором константа изменяется по струнному ландшафту, больше, чем антропно допустимый диапазон для этой константы. Тогда разумно предположить *априорное* равномерное распределение вероятности в антропно допустимом диапазоне. Мы должны знать то, какие константы действительно нужно "сканировать" в этом смысле. Физики хотели бы провести расчеты в максимально возможной степени подробно, так что мы надеемся, что придется исследовать не слишком много констант.

Самая оптимистическая гипотеза заключается в том, что рассмотрению подлежат немногие константы с размерностью положительной энергии массы: вакуумная энергия, и скалярная масса, либо массы, устанавливающие масштаб нарушения электрослабой симметрии. По сравнению со всеми другими параметрами, зафиксированными в Стандартной Модели, масштаб нарушения электрослабой симметрии примерно в 1.4-2.7 раз шире их величин в нашей подвселенной, при условии, что масса пиона достаточно мала, чтобы сделать ядерную силу достаточно большой для удержания дейтерона от расщепления (13). (Условие, что дейтерон должен быть устойчивым к бета-распаду, приводящее к более узким границам, не кажется, мне необходимым. Даже бета-нестабильный дейтерон жил бы достаточно долго, чтобы позволить осуществиться космологическому синтезу гелия; гелий же был бы сожжен до появления

тяжелых элементов в первом поколении очень массивных звезд; и затем последующие поколения могли жить долго, сжигая водород через углеродный цикл.) Но тот простой факт, что масштаб нарушения электрослабой симметрии только на несколько порядков больше соответствующего масштаба КХД, не должен сам по себе вести нас к заключению, что это должно быть установлено антропно. Всегда есть возможность, что масштаб нарушения электрослабой симметрии обусловлен энергией, при которой некая калибровочная константа связи становится большой, и если оказывается, что эта связь растет с уменьшением энергии немного быстрее, чем в КХД, тогда масштаб нарушения электрослабой симметрии будет, естественно, величиной на несколько порядков большей, чем соответствующий масштаб КХД.

Если масштаб нарушения электрослабой симметрии определяется антропным принципом, мы можем зря потратить десятилетия в долгих поисках естественного решения проблемы иерархии. Принятие такой точки зрения - очень привлекательная перспектива, потому что ни одно из "естественных" решений, которые были предложены, типа technicolor или низкоэнергетической суперсимметрии никогда не были свободны от трудностей. В частности, порывая с низкоэнергетической суперсимметрией, можно восстановить некоторые из самых привлекательных особенностей не-суперсимметричной стандартной модели: автоматическое сохранение барионного и лептонного числа во взаимодействиях до измерений 5 и 4, соответственно; естественное сохранение ароматов в нейтральных токах; маленький электрический дипольный момент нейтрона. Аркани-Хамед и Димопулос (14) даже показали, как возможно сохранить хорошие особенности суперсимметрии, такие как более точная конвергенция констант связи $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ -взаимодействия к единственной величине и присутствие кандидатов на темную материю WIMPs. Идея относительно этого "расщепления суперсимметрии" состоит в том, что, хотя суперсимметрия нарушается при некоторой очень высокой энергии, калибрино и хиггсино остаются легкими благодаря киральной симметрии. [Дополнительная дискретная симметрия необходима, чтобы предотвратить нарушение закона сохранения лептонного числа в хиггсино-лептонном смешивании, и сохранить самую легкую суперсимметрическую частицу стабильной.] Одно из замечательных достоинств расщепления суперсимметрии это то, что, в отличие от многих вещей, о которых мы говорим сегодня, она делает предсказания, которые могут быть проверены, когда Большой адронный коллайдер (LHC) начнет работать. Она предсказывает единственный нейтральный бозон Хиггса с массой в диапазоне 120 - 165 ГэВ, возможные винос (winos) и бинос (binos), но никаких s-кварков (squarks) или s-лептонов (sleptons) и долгоживущих глюино. (Кстати, Стэнфордская группа (15) недавно использовала соображения о нуклеосинтезе при Большом Взрыве, чтобы утверждать, что 1 TeV-ное глюино должно иметь время жизни меньше чем 100 секунд. Это свидетельствует о том, что масштаб нарушения

суперсимметрии меньше, чем 10^{10} ГэВ, что может создать проблемы для протонной стабильности. Но мне интересно, может ли вселенная, даже если глюино имеет большее время жизни и распадается после нуклеосинтеза, таким образом быть повторно нагрета выше температуры диссоциации гелия, давая нуклеосинтезу Большого Взрыва второй шанс произвести наблюдаемое изобилие гелия.)

Что сказать относительно безразмерных констант связи Юкавы в Стандартной Модели? Хоган (16), анализировал антропные ограничения на эти взаимодействия, при фиксированном масштабе нарушения электрослабой симметрии и сумме констант связи Юкавы u - и d -кварков, что позволило избежать затруднений, связанных с зависимостью ядерных сил от массы пиона.

Он постулировал три условия: (1) $m_d - m_u - m_e > 1.2 \text{ MeV}$, для того, чтобы ранняя вселенная не стала полностью нейтронной; (2) $m_d - m_u + m_e < 3.4 \text{ MeV}$, для того, чтобы реакция pp была экзотермической, и (3) $m_e > 0$. С этими тремя условиями для двух параметров – $(m_u - m_d)$ и m_e – он, естественно, нашел, что эти параметры ограничены конечной областью, которая оказалась весьма маленькой. На первый взгляд складывается впечатление, что константы связи Юкавы для кварка и лептона подчинены строгим антропным ограничениям, из чего мы могли бы вывести, что константы Юкавы, вероятно, подлежат «антропному сканированию».

У меня есть два сомнения в справедливости такого заключения. Первое сомнение состоит в том, что реакция pp не является необходимой для жизни. В этом случае более подходящей является per реакция, $p + p + e^- \rightarrow d + \nu$, которая может поддерживать существование звезд, сжигающих водород, в течение долгого времени. Но для этого мы не нуждаемся в условии $m_d - m_u + m_e < 3.4 \text{ MeV}$, достаточно и более слабого условия $m_d - m_u - m_e < 3.4 \text{ MeV}$. Тогда эти три условия Хогана не ограничивают параметры $(m_d - m_u)$ и m_e по отдельности никакой конечной областью, а только заставляют (причем не очень строгим антропным ограничением) единственный параметр $m_d - m_u - m_e$ лежать между 1.2 MeV и 3.4 MeV . (Фактически, He^4 будет стабилен, пока $m_d - m_u - m_e$ меньше, чем приблизительно 13 MeV , так что звездный нуклеосинтез может начаться с гелия, горящего в тяжелых звездах Населения III, с последующим горением водорода в более поздних поколениях звезд.)

Мое второе сомнение связано с тем, что антропные ограничения на параметры Юкавы смягчаются, если мы предположим (как обсуждено выше), что масштаб нарушения электрослабой симметрии не фиксирован и мы вольны придать ему любую величину, следующую из антропного принципа. Например, согласно результатам (13), дейтеронная энергия связи может оказаться порядка 3.5 MeV, если мы примем масштаб нарушения электрослабой симметрии намного меньше чем в нашей вселенной, а тогда даже условие экзотермичности pp реакции становится намного более легким.

Кстати, я не придаю большого значения известному "совпадению", подчеркнутому Хойлом и состоящему в том, что существует возбужденное состояние C^{12} с энергией, обязательно необходимой для осуществления процесса синтеза углерода в звездах через реакцию $\alpha - Be^8$. Мы знаем, что четно-четные ядра имеют состояния, которые хорошо описываются как соединения α - частиц. Одно из таких состояний – нижнее состояние Be^8 , которое является нестабильным по отношению к распаду на две альфа-частицы. Тот же тип α - α потенциала, который порождает этот вид нестабильного состояния Be^8 , естественно может ожидать в появлении нестабильного состояния у ядра C^{12} , являющегося, по существу, соединением трёх α - частиц, и поэтому представляется очевидным низкоэнергетическим резонансом в $\alpha - Be^8$ реакциях. Поэтому существование этого состояния не кажется мне свидетельством такого уж замечательного приближения.

Что еще подлежит «антропному сканированию»? Тегмарк и Рис (17) подняли вопрос о том, не следует ли исследовать само по себе среднеквадратическое колебание плотности σ ? Если пойти на это, то антропное ограничение на вакуумную энергию становится более слабым, воскрешая до некоторой степени проблему того, почему ρ_v является настолько маленьким, но Гаррига и Виленкин (18) установили, что на самом деле антропному ограничению подлежит ρ_v / σ^3 , так что даже если σ подвергнется «антропному сканированию», антропные предсказания, выведенные из анализа этого отношения, остаются здравыми.

Аркини-Хамед, Димопулос, и Качру (19) предложили возможную причину того, почему большинство констант не нужно «антропно сканировать». Если есть большое количество N несвязанных модулярных полей, каждое из которых содержит несколько возможных значений константы, то распределение вероятности их количественных значений, которые зависят от всех этих полей, будет иметь резкий максимум, с шириной, пропорциональной $1/\sqrt{N}$. Согласно Дистлеру и Варадараяну (20), нет необходимости делать произвольные предположения о разъединении различных скалярных полей; достаточно принять самый общий полиномиальный суперпотенциал, который является устойчивым в

том смысле, что радиационные поправки не изменяют эффективные константы связи для достаточно большого N на величину бóльшую, чем сами константы. Дистлер и Варадараян предпочитают кубические суперпотенциалы, потому что полиномиальные суперпотенциалы порядка выше, чем кубический, по-видимому, не имеют никакого физического смысла. Но пока не ясно, могут ли даже кубические суперпотенциалы быть подходящими приближениями, или что пики возникнут при подходящих значениях в распределении безразмерных констант связи, а не в некоторых комбинациях этих констант (21). Также не ясно, как разнообразие вакуумов в этом виде эффективной скалярной полевой теории может должным образом представить разнообразие значений потока в струнных теориях (22), но даже в отсутствие такой ясности, это, может быть, сможет представить разнообразие минимумов потенциала для данного набора потоковых вакуумов.

Если большинство констант фактически не рассмотрено, то, почему антропные аргументы должны работать для вакуумной энергии и масштаба нарушения электрослабой симметрии? АДК (19) указывают, что, даже если некоторые постоянные имеют относительно узкое распределение, антропные аргументы все равно будут применяться, если антропно допустимый диапазон является еще более узким, почти точечным, с симметричным распределением вблизи этой точки. (АДК предполагают, что эта точка должен быть в нуле, но это не является необходимым.) Это имеет место, например, для вакуумной энергии, если суперпотенциал W является суммой суперпотенциалов W_n для большого количества расцепленных скалярных полей, у каждого из которых есть отдельная нарушенная R -симметрия таким образом, что возможные значения каждого W_n равны и противоположны. Тогда распределение вероятности полного

суперпотенциала $W = \sum_{n=1}^N W_n$ окажется Гауссовским, и будет достигать максимума в $W = 0$ с шириной, пропорциональной $1/\sqrt{N}$ и распределение вероятности суперсимметрической вакуумной энергии $e^{-8\pi G|W|^2}$ будет простирается по соответственно узкому диапазону отрицательных значений с максимумом в нуле. Если принять во внимание нарушение суперсимметрии, распределение вероятности расширяется и включает положительные значения вакуумной энергии; распространение в область положительных значений зависит от масштаба нарушения суперсимметрии. Для любого разумного масштаба нарушения суперсимметрии это распределение вероятности, хотя и узкое по сравнению с масштабом Планка, будет очень широко по сравнению с очень узким антропно позволенным диапазоном вокруг $\rho_v = 0$. Поскольку в пределах этого диапазона можно ожидать равномерного распределения, антропные аргументы должны работать. Подобные соображения применимы и к μ -терму

суперсимметрической Стандартной Модели, которая устанавливает масштаб нарушения электрослабой симметрии.

3. Как нужно вычислять антропно обусловленные вероятности?

Мы ожидали, что распределения антропно обусловленных вероятностей для данной величины любой исследуемой постоянной, должно быть пропорционально числу научных цивилизаций, которые наблюдают это ее значение. В вычислениях, описанных выше, Мартел, Шапиро и я приняли, что это число должно быть пропорционально доле барионов, которые оказываются в галактиках. Но что будет, если общее количество самих барионов «антропно сканировать»? И не является ли эта процедура бесконечной?

4. Как населен струнный ландшафт?

Имеется по крайней мере четыре способа, с помощью которых мы могли бы представить различные "вселенные", описываемые струнным ландшафтом и пригодные к существованию:

1. Различные подвселенные могут быть просто различными областями пространства.

Это наиболее просто реализуется в хаотической теории инфляции (23). Скалярные поля в различных раздувающихся клочках могут иметь различные значения, порождая различные значения для различных эффективных констант взаимодействия.

Действительно, Линде размышлял о применении антропного принципа к космологии вскоре после предложения хаотической инфляции (24).

2. Подвселенные могут быть различными эрами времени в единственном Большом взрыве. Например, может оказаться, что физические постоянные фактически зависят от скалярных полей, которые очень медленно изменяются по мере того, как вселенная расширяется (25).

3. Подвселенные могут быть различными областями пространства-времени. Это может случиться, если, вместо того, чтобы плавно изменяться со временем, различные скалярные поля, от которых зависят природные "константы", изменяются через последовательность фазовых переходов первого рода (26). В этих переходах в пределах области более высокой вакуумной энергии формируются метастабильные пузыри; тогда в пределах каждого пузыря формируются далее пузыри еще более низкой вакуумной энергии; и так далее. В последние годы эта идея была восстановлена в контексте струнного ландшафта (27).

4. Подвселенные могут быть различными частями квантово-механического Гильбертова пространства. В новой интерпретации

более ранней работы Хокинга о волновой функции вселенной (28) Колеман (29) показал, что некоторые топологические связи, известные как червоточины в интеграле пути для евклидовой волновой функции вселенной, приводят к суперпозиции волновых функций, в которой любые связанные с ней константы, не ограниченные принципами симметрии, принимают любые возможные значения. Оогури, Вафа и Верлинде (30) привели доводы в пользу специфической волновой функции вселенной, но это избавляет меня от необходимости комментария, поскольку любой может считать эту или любую другую предложенную волновую функцию волновой функцией вселенной.

Эти альтернативы ни в коем случае не взаимно исключают. В частности, мне кажется, что при любом взгляде на статус альтернатив 1, 2 и 3, мы еще имеем возможность полагать, что волновая функция вселенной является суперпозицией различных условий, дающих различные способы населить струнный ландшафт в пространстве и/или времени.

В заключение я хотел бы прокомментировать влияние антропных рассуждений в пределах и вне сообщества физики. Некоторые физики выразили сильную неприязнь к антропным аргументам. (Я слышал, что Дэвид Гросс сказал, что "Я ненавижу это.") Это понятно. Теории, основанные на антропном вычислении, конечно, представляют отступление от того, на что мы надеялись: вычисление всех фундаментальных параметров от первых принципов. От этой надежды отказываться ещё рано, но, нравится нам это или нет, надо быть готовым к отступлению, так же, как Ньютон должен был оставить надежду Кеплера относительно вычисления относительных размеров планетарных орбит из первых принципов.

Есть также менее достойная причина для враждебности к идее Мультиверсума, основанная на том факте, что мы никогда не будем способны наблюдать какие-либо подвселенные, за исключением нашей собственной. Ливио и Рис (31) и Тегмарк (32) тщательно обсудили те разнообразные компоненты признанных теорий, которые мы никогда не будем способны наблюдать; и это не привело к необходимости отказа от принятых теорий. Проверка физической теории состоит не в том, что все в ней должно быть наблюдаемо, а каждое ее предсказание должно быть проверяемо, а, скорее, в том, что теория включает достаточно наблюдаемых явлений, и достаточно много предсказаний являются проверяемыми для того, чтобы позволить нам поверить в то, что теория является правильной.

Наконец, мне известно мнение, заключающееся в том, что в попытке объяснить, почему законы природы так хорошо подходят для появления и развития жизни, антропные аргументы приобретают несколько религиозный аромат. Я думаю, что на самом деле все наоборот. Также, как Дарвин и Уоллис объяснили, как замечательная адаптация живущих форм могла возникнуть без сверхъестественного вмешательства, так и струнный ландшафт может объяснить, как физические константы, которые

мы наблюдаем, могут принять значения, подходящие для жизни, не будучи точно отрегулированными доброжелательным создателем. Я нашел, что эта параллель хорошо понимается в удивительном месте – в Нью-Йорк Таймс опубликована статья Христофа Шенборна, Главного Архиепископа Вены (33). Его статья заканчивается следующим образом:

"Теперь, в начале 21-ого столетия, сталкиваясь с научными притязаниями, подобными нео-Дарвинизму и гипотезе Мультиверса в космологии, изобретенными, чтобы избежать найденных современной наукой очевидных свидетельств Благих Намерений и Божественного Промысла, Католическая церковь снова защитит человеческую природу, объявляя, что имманентность Божественного Промысла, очевидная в природе, является реальной. Научные теории, которые пробуют объяснить мир без Божественного Промысла как результат 'случайности и потребности', не научны вообще, но, как выразился Иоанн-Павел II, являются сложением полномочий человеческого интеллекта".

Из этого хорошо видно, что работа в космологии привлекает часть внимания, уделяемого в наши дни эволюции, но, конечно, не предвзятые религиозные мнения, подобные приведенным здесь, смогут решить какие-либо проблемы в науке.

Нужно признать, что есть большое различие в степени убежденности, которую мы можем иметь по отношению к нео-Дарвинизму и мультиверсу. Надежно установлено, как это делается в науке, что приспособляемость живых существ на земле возникла через естественный выбор, действующий на случайные ненаправленные наследственные изменения. О мультиверсе принято держать открытое мнение, и точки зрения ученых отличаются широко. В аэропорте Остина, по пути на эту встречу, я заметил на прилавке октябрьский выпуск журнала с названием *Астрономия*, имевший на обложке заголовок, "Почему Вы Живете в Множественных Вселенных". Внутри я нашел сообщение о дискуссии на конференции в Стэнфорде, в которой Мартин Рис сказал, что он уверен в реальности мультиверса настолько, что готов держать пари на жизнь его собаки об этом, в то время как Андрей Линде сказал, что он будет держать пари на свою собственную жизнь. Что касается меня, то у меня достаточно веры в Мультиверс, чтобы держать пари на жизни и собаки Мартина Риса, и Андрея Линде.

Этот материал основан на работе, поддержанной Национальным Фондом Науки под Грантами RNY-0071512 и RNY-0455649 и с поддержкой от Фонда Роберта А. Валлийского, Грант F-0014, и также имеет поддержку от американского Флота, Офис Военно-морских Исследований, Грант N00014-03-1-0639 и N00014-04-1-0336, Квантовая Оптическая Инициатива.

Использованные Источники

- ¹R. Bousso and J. Polchinski, JHEP 0006, 006 (2000).
- ²S. B. Giddings, S. Kachru, and J. Polchinski, Phys. Rev. D66, 106006 (2002); A. Maloney, E. Silverstein, and A. Strominger, hep-th/0205316; S. Kachru, R. Kallosh, A. D. Linde, and S. P. Trivedi, Phys. Rev. D68, 046005 (2003).
- ³S. K. Ashok and M. Douglas, JHEP 0401, 060 (2004).
- ⁴L. Susskind, hep-th/0302219
- ⁵S. Weinberg, Phys. Rev. Lett. 59, 2607 (1987).
- ⁶A. Vilenkin, Phys. Rev. Lett. 74, 846 (1995)
- ⁷J. D. Barrow and F. J. Tipler, The Anthropic Cosmological Principle (Clarendon, Oxford, 1986).
- ⁸H. Martel, P. Shapiro, and S. Weinberg, Astrophys. J. 492, 29 (3998). For earlier calculations, see G. Efstathiou, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 274, L73 (1995); S. Weinberg, in Critical Dialogues in Cosmology. ed. N. Turok (World Scientific, 1997).
- ⁹A. G. Riess et al., Astron. J. 116, 1009 (1998); S. Perlmutter et al, Astrophys. J. 517, 565 (1999).
- ¹⁰WMAP collaboration, Astrophys. J. Suppl. 148 (2003).
- ¹¹M. R. Douglas, hep-ph/0401004; Compt. Rend. Phys. 5, 965 (2004).
- ¹²M. Dine, D. O'Neil and Z. Sun, JHEP 0507, 014 (2005); M. Dine and Z. Sun, hep-th/0506246.
- ¹³V. Agrawal, S. M. Barr, J. F. Donoghue, and D. Seckel, Phys. Rev. D 57, 5480 (1998).
- ¹⁴N. Arkani-Hamed and S. Dimopoulos, JHEP 0506, 073 (2005). Also see G. F. Giudice and A. Romanino, Nucl. Phys. B 699, 65 (2004); N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. F. Giudice, and A. Romanino, Nucl. Phys. B 709, 3 (2005); A. Delgado and G. F. Giudice, hep-ph/0506217.
- ¹⁵A. Arvanitaki, C. Davis, P. W. Graham, A. Pierce, and J. G. Wacker, hep-ph/0504210.
- ¹⁶C. Hogan, Rev. Mod. Phys. 72, 1149 (2000); and astro-ph/0407086.
- ¹⁷M. Tegmark and M J. Rees, Astrophys. J. 499, 526 (1998).
- ¹⁸J. Garriga and A. Vilenkin, hep-th/0508005.
- ¹⁹N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, and S. Kachru, hep-th/0501082, обозначаемое ниже как ADK.
- ²⁰J. Distler and U. Varadarajan, hep-th/0507090.
- ²¹M. Douglas, частное сообщение.
- ²²T. Banks, hep-th/0011255.

²³A. D. Linde, Phys. Lett, 129B, 177 (1983); A. Vilenkin, Phys. Rev. D 27, 2848 (1983); A. D. Linde, Phys. Lett. B 175, 305 (1986); Phys. Scripta T15, 100 (1987); Phys. Lett. B202, 194 (1988).

²⁴A. D. Linde, in *The Very Early Universe*, ed. G. W. Gibbons, S. W. Hawking, and S. Siklos (Cambridge University Press, 1983); Rept. Progr. Phys. 47, 925 (1984).

²⁵T. Banks, Nucl. Phys. B 249, 332 (1985).

²⁶L. Abbott, Phys. Lett. B150, 427 (1985); J. D. Brown and C. Teitelboim, Phys. Lett. B 195, 177 (1987); Nucl. Phys. B 297, 787 (1987).

²⁷R. Bousso and J. Polchinski, op. cit.; J. L. Feng, J. March-Russel, S. Sethi, and F. Wilczek, Nucl. Phys. B 602, 307 (2001); H. Firouzjahi, S. Sarangji, and S.-H. Henry Tye, JHEP 0409, (160 (2004); B. Freivogel, M. Kleban, M. R. Martinez, and L. Susskind, hep-th/0505232.

²⁸S. W. Hawking, Nucl. Phys. B 239, 257 (1984); and in *Relativity, Groups, and Topology II*, NATO Advanced Study Institute Session XL, Les Houches, 1983, ed. B.S. DeWitt and R. Stora (Elsevier, Amsterdam, 1984): p. 336. Часть этой работы основана на начальном условии для происхождения вселенной, предложенном Хартлем (J. Hartle) и Хокингом (S. W. Hawking), Phys. Rev. D 28, 2960 (1983).

²⁹S. Coleman, Nucl. Phys. B 307, 867 (1988). Утверждалось, что волновая функция вселенной имеет резкий максимум по значениям констант, что приводит к нулевой вакуумной энергии в последующее время, S. W. Hawking, in *Shelter Island II — Proceedings of the 1983 Shelter Island Conference on Quantum Field Theory and the Fundamental Problems of Physics*, ed. R. Jackiw et al. (MIT Press, Cambridge, 1985); Phys. Lett. B 134, 403 (1984); E. Baum, Phys. Lett. B 133, 185 (1984); S. Coleman, Nucl. Phys. B 310, 643 (1985). Это представление было оспорено; см. W. Fischler, I. Klebanov, J. Polchinski, and L. Susskindj Nucl. Phys. B 237, 157 (1989). Я принимаю здесь, что таких пиков нет.

³⁰H. Ooguri, C. Vafa, and E. Verlinde, hep-th/0502211

³¹M. Livio and M. J. Rees, Science 309, 1022 (12 August, 2003).

³²M. Tegmark, Ann. Phys. 270, 1 (1998).

³³C. SchÖnborn, N. Y. Times, 7 July 2005, p. A23.