



Александро Дженкинс и Гилад Перес

В ПОИСКАХ ЖИЗНИ В МУЛЬТИВСЕЛЕННОЙ

Вселенные, обладающие различными законами физики, могут быть обитаемы

Типичный герой голливудского фильма пребывает в постоянной борьбе со смертью. Множество плохих парней стреляют в него, каждый раз промахиваясь лишь на волосок. Какие-то доли секунды отделяют отпрыгнувшего супермена от огненного шара взор-

вавшейся машины. Друзья приходят ему на помощь за мгновение до того, как нож негодяя должен перерезать ему горло. Повернись любое из этих событий хоть немного иначе — и прости-прощай. При этом, даже если мы не видели фильма раньше, что-то подсказывает

нам, что он закончится определенным образом.

В некотором отношении история нашей Вселенной похожа на голливудский фильм. Некоторые ученые считают, что даже небольшое изменение одного из основополагающих законов физики могло бы привести к катастрофе, которая нарушила бы ход нормального развития Вселенной, сделав невозможным наше существование. Например, если удерживающее ядра атомов сильное ядерное взаимодействие оказалось бы немного сильнее или, наоборот, слабее, то в звездах образовалось бы очень мало углерода и других хими-

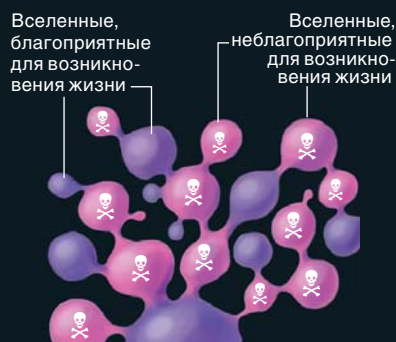
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Множество иных вселенных, каждая со своим набором физических законов, могли возникнуть из того же первичного вакуума, который породил и нашу Вселенную.
- Многие из этих возможных вселенных могут содержать сложные структуры и, вероятно, даже некоторые формы жизни.
- Такие концепции о множественности миров наводят на мысль, что наша Вселенная может и не быть специально «настроена» на возникновение жизни, как это полагалось ранее.



ЧТО ТАКОЕ МУЛЬТИВСЕЛЕННАЯ?

Альтернативные вселенные сейчас становятся предметом серьезных исследований, частично за счет того, что действительно могут существовать. Согласно общепринятой космологической модели, наша Вселенная была рождена из микроскопической области первичного вакуума за счет стремительного экспоненциального расширения, называемого инфляцией. Но вакуум может непрерывно порождать и другие вселенные. Каждая из вселенных обладает собственным набором физических законов; какие-то могут допускать появление жизни, какие-то нет



ческих элементов, необходимых для формирования планет, не говоря о жизни. Если протон был бы всего на 0,2 % тяжелее, чем он есть, то весь первичный водород практически сразу же распался бы на нейтроны, и никаких атомов вообще не сформировалось бы. И таким совпадением нет числа.

Законы физики — и, в частности, входящие в них мировые константы, такие как константы связи фундаментальных сил, — оказались «настроены» таким образом, чтобы сделать возможным наше существование. Такая точка зрения недалеко ушла от попыток привлечения сверхъестественных объяснений, которые могли бы оказаться вне компетенции науки. Многие физики и космологи в 1970-х гг. начали решать проблему, предполагая, что наша Вселенная — всего лишь одна из многих существующих, каждая из которых обладает собственными физическими законами. Согласно таким «антропным» рассуждениям, мы можем занимать очень редкую,

специально «настроенную» вселенную, в которой вся совокупность условий позволила образоваться жизни.

Удивительно, что согласно господствующей в современной космологии теории, основы которой были заложены в 1980-х гг., «параллельные вселенные» могут реально существовать. Фактически, множество вселенных могли бы постоянно рождаться из первичного вакуума таким же образом, как образовалась и наша Вселенная. Наша Вселенная могла бы быть одной из большого количества таких «карманных» вселенных в огромном объемлющем пространстве, называемом Мультивселенной. В подавляющем большинстве таких вселенных законы физики могли бы не приводить к образованию знакомой нам материи или же галактик, звезд, планет и жизни. Однако если рассматривать полный набор всех возможных вариантов, у природы есть неплохой шанс сформировать «правильные» законы хотя бы единожды.

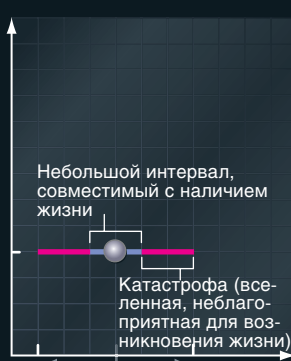
КАК НАЙТИ ГОСТЕПРИМНУЮ ВСЕЛЕННУЮ?

Многие детали в законах природы оказываются хорошо «настроенными». Так, небольшое изменение величины любой константы, которая появляется в физических уравнениях, обычно ведет к катастрофе. Например, атомы не могут возникнуть, или вещество оказывается сильно рассеянным в пространстве, так что ни галактики, ни звезды, ни планеты не могут образоваться. Изменение одновременно двух констант, тем не менее, может иногда привести к множеству возможных значений, которые допускают возникновение сложных структур или даже некоторых форм разумной жизни. Изменения трех или более параметров еще более расширяют количество возможностей



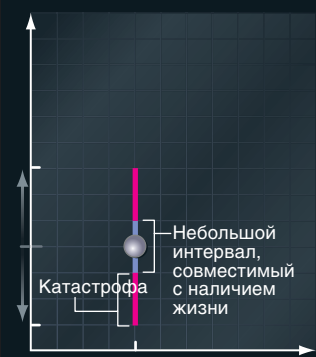
1 ДВЕ КОНСТАНТЫ

Физики могут изобразить наблюдаемые величины двух различных констант А и В как две координаты точки на плоскости. Каждая точка плоскости представляет собой разную пару значений



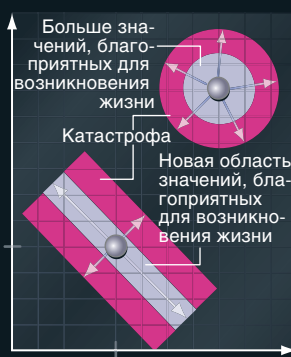
2 МОДИФИКАЦИЯ ОДНОЙ ИЗ КОНСТАНТ

Изменение константы А, оставляющее неизменными все остальные константы, представлено на схеме движением горизонтальной линии. Выход за пределы небольшой области обычно приводит к катастрофе, и такая вселенная была бы непригодна для жизни



3 МОДИФИКАЦИЯ ДРУГОЙ КОНСТАНТЫ

Изменение константы В при неизменности всего остального представлено на схеме движением вдоль вертикальной линии. Вне небольшого интервала также происходит катастрофа



4 ИЗМЕНЯЮТ ОБЕ КОНСТАНТЫ

Возможность изменять константы А и В может привести к новому множеству значений параметров, совместимых с наличием жизни. При удалении от известных значений можно также обнаружить «островки» значений параметров, совместимых с наличием жизни

Тем не менее, согласно нашим недавним исследованиям, некоторые из иных вселенных — в рамках предположения, что они все-таки существуют — могут и не быть столь недружелюбными. Примечательно то, что мы нашли примеры альтернативных значений фундаментальных констант и, таким образом, альтернативные множества физических законов, на основе которых могли бы существовать очень интересные миры, а возможно, даже и жизнь. Основная идея заключается в том, чтобы изменить какой-то один из законов природы, а затем некоторым образом подстроить под него все остальные.

Наша работа стоит несколько в стороне от серьезных проблем теоретической физики, таких как, например, проблема малости космологической постоянной, благодаря чему наша Вселенная не схлопнулась сразу же после Большого взрыва и не оказалась разорванной экспоненциально растущим расширением. Тем не менее существование альтернативных и в принципе обитаемых вселенных ставит интересные вопросы и позволяет понять, насколько уникальна наша Вселенная.

Жизнь без слабого взаимодействия

Общепринятый путь, выбранный учеными, таков: превратить какую-нибудь фундаментальную константу в подходящую переменную и изменить ее, оставляя все остальные параметры исследуемой модели неизменными. Основываясь на возникающих при этом новых законах физики, ученые как бы смотрят кинофильм о вселенной — они производят вычисления, прогнозируя различные сценарии ее развития с помощью компьютерного моделирования, чтобы сделать предположения о возможных катастрофах. Но почему одновременно фиксируется только один параметр? Ситуация напоминает вождение автомобиля, когда водитель следует только по одной широте или долготе, но не меняет обе величины сразу. Од-

нако очевидно, что, придерживаясь одной из линий сетки, вы не будете двигаться по нужной вам дороге. Таким образом, нужно менять хотя бы два параметра.

Для поиска альтернативных множеств физических законов, которые все-таки могут создавать сложные структуры, способные в свою очередь порождать жизнь, один из нас (Гилад Перес) и его сотрудники, не делая даже небольшой модификации известных законов физики, просто полностью исключили одно из четырех фундаментальных взаимодействий.

По самому своему названию фундаментальные взаимодействия представляются как нечто обязательное для любой уважающей себя вселенной. Так, без сильных ядерных взаимодействий, связывающих кварки в протоны и нейтроны, а их в свою очередь в атомные ядра, материя, какой мы ее знаем, не существовала бы. Без электромагнитного взаимодействия не было бы света, атомов и химических связей. Без гравитации нет силы, объединяющей вещество в галактики, звезды, планеты.

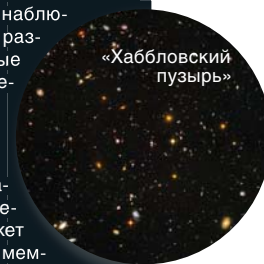
Четвертое взаимодействие (слабое ядерное) незримо присутствует в нашей повседневной жизни, но также играет важную роль и в истории Вселенной. Помимо различных прочих важных свойств слабое взаимодействие делает возможными превращения нейтронов в протоны и наоборот. В первые мгновения после Большого взрыва, после того как кварки (возникшие в числе первых форм материи) объединились в группы по три, формируя протоны и нейтроны, вместе называемые барионами, последние смогли объединиться, в группы по четыре, формируя ядра гелия-4, содержащие два протона и два нейтрона. Этот так называемый нуклеосинтез Большого взрыва занял всего несколько секунд жизни нашей Вселенной, когда она остыла достаточно для формирования барионов, но не для того, чтобы последние испытали ядерный синтез. В процессе нуклеосинтеза Боль-

ЕЩЕ ЗАМЕЧАНИЯ О «ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВСЕЛЕННЫХ»

Физики и космологи (а зачастую и писатели-фантасты) говорят о параллельных вселенных в различных контекстах. Есть по крайней мере три концепции Мультивселенной, отличные от представленной в статье

▼ ХАББЛОВСКИЙ ПУЗЫРЬ

Наша Вселенная, возможно, гораздо больше, чем та ее часть, которую мы можем наблюдать, — наш «Хаббловский пузырь» («хаббл-бабл»). Если наша Вселенная обладает бесконечным размером, то должно существовать бесконечное множество таких пузырей с центрами в наблюдателях, расположенных в разных галактиках. Некоторые могут быть идентичны нашему, другие — нет



«Хаббловский пузырь»

▼ БРАНЫ

Если пространство обладает более чем тремя измерениями, наша Вселенная может быть одной из трехмерных мембран, или «бран», в многомерном пространстве. Такие параллельные вселенные могут воздействовать одна на другую и даже сливаться



Параллельные браны

▼ ГИПОТЕЗЫ О МНОГОМЕРНЫХ МИРАХ.

В квантовой физике один и тот же объект может находиться в различных состояниях — как тот знаменитый «кот Шредингера», который одновременно и жив, и мертв. И только внешнее воздействие может заставить объект перейти в какое-то одно конкретное состояние. Некоторые ученые полагают, что все непрерывное множество возможных состояний существует, каждое в отдельном «ответвлении» истории нашей Вселенной



Кот Шредингера

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Вселенная, обладающая вместо обычных четырех тремя фундаментальными взаимодействиями, могла бы оказаться удивительно знакомой. Вот как это можно сделать:

- Удалить слабое взаимодействие, модифицируя некоторые константы в Стандартной модели физики частиц;
- остальные взаимодействия оставить в точности такими же, как в нашей Вселенной;
- изменить другие параметры, чтобы способствовать наличию ядерных реакций в звездах.

В результате получится мир сложной структуры, который мог бы поддерживать формы жизни, схожие с земными

	ЧЕТЫРЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	Верхний Кварк (u) + Нижний Кварк (d) = Нейтрон	Верхний Кварк (u) + Нижний Кварк (d) + Нейтрон = Протон	Верхний Кварк (u) + Нижний Кварк (d) + Нейтрон + Нейтрон = Гелий-4 + Электроны + Антинейтрино
НАША ВСЕЛЕННАЯ	<p>▲ Появляются элементарные частицы и четыре фундаментальных взаимодействия. При экстремальной температуре Вселенной слабое взаимодействие препятствует возникновению массы у вещества</p> <p>Охлаждение делает слабое взаимодействие действительно слабым, вещество может приобретать массу</p>	▲ Верхний и нижний кварки объединяются, образуя протоны (ядра водорода) и нейтроны	▲ Некоторые протоны объединяются в ядра гелия-4. Этот процесс зависит от слабого ядерного взаимодействия по переходу протонов в нейтроны, электроны и антинейтрино	
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ВСЕЛЕННАЯ	<p>▼ Появляются некоторые элементарные частицы, но частицы вещества уже обладают массой</p> <p>ТРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (слабое ядерное взаимодействие отсутствует)</p>	▼ Верхний и нижний кварки объединяются в протоны и нейтроны	▼ Некоторые протоны и нейтроны объединяются в ядра дейтерия и затем в ядра гелия-3. Протоны не могут преобразовываться в нейтроны	
	10 ⁻⁴⁰ СЕКУНДЫ	10 ⁻¹² СЕКУНДЫ	10 ⁻⁶ СЕКУНДЫ	1 СЕКУНДА — 3 МИНУТЫ

шого взрыва образовались водород и гелий, которые позже сформировали бы звезды, где ядерный синтез и другие процессы смогли бы выковать все остальные химические элементы. До сих пор синтез четырех протонов для создания гелия-4 продолжается внутри нашего Солнца, где рождается большая часть энергии, получаемой нами от этой звезды.

Без слабого взаимодействия кажется маловероятным, что во Вселенной сформировались бы сложные химические соединения, а следовательно, и жизнь. В 2006 г. Перес и его команда обнаружили множес-

тво физических законов, которые основываются только на остальных трех взаимодействиях, но, тем не менее, делают Вселенную пригодной для жизни.

Исключение слабого взаимодействия потребовало некоторых изменений в так называемой Стандартной модели физики частиц, которая описывает все взаимодействия за исключением гравитации. Группа исследователей показала, что модификации могут быть сделаны таким образом, что поведение остальных трех взаимодействий — и остальных основных параметров, таких как массы кварков, — могут быть

такими же, как и в нашем мире. Мы хотим отметить, что подобный выбор консервативен, предназначен для облегчения расчетов параметров развития вселенной. Вполне возможно, что большое количество других вселенных, «лишенных» слабого взаимодействия, обитаемы, но совершенно не похожи на нашу.

Во вселенной без слабого взаимодействия обычное слияние протонов для формирования гелия было бы невозможным, потому что этот процесс требовал бы превращения двух протонов в нейтроны. Однако возможен другой путь для образования химических элементов. Например, в нашей Вселенной материя существенно преобладает над антиматерией, но небольшой настройкой величины параметра, контролирующего такую асимметрию, достаточно для того, чтобы нуклео-

Чтобы лучше понять наше истинное место в Мультивселенной, необходимо изучать иные вселенные



▲ Образуются первые звезды, а затем галактики и новые поколения звезд. Звезды взрываются преимущественно за счет слияния водорода с образованием гелия-4

▲ В звездах гелий-4 объединяется в углерод и другие элементы в периодической таблице вплоть до железа. В результате других процессов создаются следующие после железа элементы

▲ Звезды следующих поколений коллапсируют и взрываются как сверхновые. Звезды иного типа взрываются после аккреции на них вещества — другой тип сверхновых рассеивают в пространстве

▲ Формируется Солнечная система. Земля — третья планета от Солнца. Появляются разумные существа, которые изумляются, почему Вселенная такова, какова она есть

150 ТЫС. ЛЕТ — 7 МЛРД ЛЕТ

7 МЛРД ЛЕТ

8 МЛРД ЛЕТ

13,7 МЛРД ЛЕТ

▼ Образуются первые звезды, затем галактики и новые звезды. Эти звезды более холодные, они излучают энергию в основном за счет слияния дейтерия и водорода и создания гелия-3

▼ В звездах образуется и немного гелия-4 за счет слияния дейтерия, а затем при слиянии гелия образуются углерод и другие элементы вплоть до железа. Более тяжелые элементы практически отсутствуют

▼ Коллапс звезд не порождает сверхновых. Так, они как бы «шипят, но не горят». Однако некоторые звезды все же становятся сверхновыми после аккреции на них вещества. Сверхновые рассеивают рожденные в их недрах химические элементы

▼ Образуется Солнечная система. Чтобы быть обитаемой, Земля в этом мире, лишённом слабого взаимодействия, должна быть ближе к своему слабому светилу, чем Меркурий к нашему Солнцу. Появляются разумные существа, которые изумляются, почему их вселенная такова, какова она есть



синтез Большого взрыва оставил основную часть ядер дейтерия. Дейтерий, также известный как водород-2, изотоп водорода, ядро которого содержит помимо одного протона еще и один нейтрон. Так, звезды могли бы светить за счет слияния протона и ядра дейтерия и формирования ядер гелия-3 (два протона и один нейтрон).

Такие звезды, лишённые реакций, обусловленных слабым взаимодействием, были бы холоднее и меньше, чем звезды нашей Вселенной. Согласно компьютерному моделированию, проведенному астрофизиком Адамом Барроусом (Adam Burrows) из Принстона, такие звезды могли бы сгорать всего за 7 млрд лет (что составляет примерный возраст нашего Солнца) и выделять энергию со скоростью в несколько процентов от соответствующей солнечной.

Следующая стадия

Подобно звездам нашей Вселенной, звезды без слабого взаимодействия могли бы синтезировать в результате ядерных реакций химические элементы вплоть до железа. Однако типичная реакция, которая в наших звездах приводит к созда-

нию элементов тяжелее железа, осуществлялась бы в этих звездах не всегда, прежде всего потому, что слишком мало нейтронов было бы доступно для захвата ядрами для создания тяжелых изотопов — первый этап в формировании тяжелых элементов. Небольшое количество

ОБ АВТОРАХ

Александро Дженкинс (Alejandro Jenkins), урожденный костариканец, работает в Группе физики высоких энергий в Университете Флориды. Окончил Гарвардский университет и Калифорнийский технологический институт. Занимается исследованиями возможности существования альтернативных вселенных в Массачусетском технологическом университете с Бобом Джаффом (Bob Jaffe) и Итамаром Кимчи (Itamar Kimchi). **Гилад Перес** (Gilad Perez) — физик-теоретик израильского Института Вейцмана в Реховоте, где он и получил докторскую степень в 2002 г. В Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли он исследует Мультивселенную с Рони Харником (Roni Harnik) из Стэнфордского университета и Грэхемом Крибсом (Graham D. Kribs) из Орегонского университета. Он работает также в Университете в Стони-Бруке, в Бостонском и Гарвардском университетах.

ИГРАЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Представьте, что масса легких кварков изменилась (речь идет о частицах, которые могут формировать стабильные барионы, такие как нейтроны и протоны). Останутся ли элементы такими, чтобы была возможна жизнь, какой мы ее знаем? Уж как минимум получившаяся вселенная должна содержать стабильные ядра с электрическими зарядами 1, 6 и 8, т.к. подобные заряды дали бы им свойства, схожие с водородом, углеродом и кислородом соответственно. Далее рассмотрено несколько вариантов того, что могло произойти

	ЛЕГКИЕ КВАРКИ	СТАБИЛЬНЫЕ БАРИОНЫ	ЛЕГЧАЙШИЕ СТАБИЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	ХИМИЯ, КОТОРАЯ РЕАЛИЗУЕТСЯ
НАША ВСЕЛЕННАЯ	Верхний (u) и Нижний (d) кварки. Нижний кварк в два раза тяжелее верхнего.	Нейтрон и Протон. Нейтрон на 0,1% тяжелее протона.	Водород	Углерод-12. Углерод-12 и другие химические элементы стабильны; жизнь возможна.
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ВСЕЛЕННАЯ 1	Верхний (u) и Нижний (d) кварки. Верхний кварк легче.	Нейтрон и Протон. Протон на 0,1% тяжелее, чем нейтрон.	Атом дейтерия	Углерод-14. Углерод-14 и другие элементы стабильны; жизнь возможна.
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ВСЕЛЕННАЯ 2	Странный (s), Верхний (u) и Нижний (d) кварки. Еще один легкий кварк (странный); нижний кварк сверхлегкий.	Нейтрон и Сигма.	Сигма-водород	Сигма-углерод. Некоторые ядра с электрическим зарядом 6 (в новой углеродной химии) и другие ядра устойчивы; жизнь возможна.
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ВСЕЛЕННАЯ 3	Верхний (u) кварк. Только один легкий кварк.	Дельта (электрический заряд 2)	Дельта-гелий	Нет других стабильных элементов; вселенная несовместима с жизнью.
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ВСЕЛЕННАЯ 4	Три сверхлегких кварка примерно одинаковых масс. Странный (s), Верхний (u) и Нижний (d) кварки.	Восемь различных типов барионов.	Сигма-водород и Водород	Нет стабильных форм углерода или кислорода; вселенная не годится для жизни.

тяжелых элементов (до стронция) могут быть синтезированы в лишенных слабого взаимодействия звездах за счет других механизмов.

В нашей Вселенной взрывы сверхновых распространяют новые синтезированные элементы по пространству и сами синтезируют новые элементы. Сверхновые бывают нескольких типов: во вселенной без слабого взаимодействия взрывы сверхновых, вызванные коллапсом сверхмассивных звезд, могут не происходить, потому что взрыв есть поток нейтронов, рожденных в результате слабого взаимодействия, которое выносит энергию из недр звезды и создает ударную волну, служащую причиной взрыва. Но различные типы сверхновых — термоядерный взрыв звезды за счет аккреции или гравитационного коллапса — тоже могут существовать. Так элементы могут быть рассеяны в межзвездном пространстве, где они дадут начало новым звездам и планетам.

С учетом относительно невысокой температуры звезд, лишенных реакций слабого взаимодействия, похожее на Землю тело должно быть примерно в шесть раз ближе к своему Солнцу. Для обитателей подобной планеты светило выглядело бы гораздо больше. Такая новая Земля без слабого взаимодействия во многом отличалась бы от нашей родной планеты. В нашем мире тектонические плиты и вулканическая активность обладают энергией за счет радиоактивного распада урана и тория в недрах Земли. Лишенная этих тяжелых элементов, типичная Земля без слабого взаимодействия обладала бы сравнительно скучной и лишенной особенностей геологией — за исключением гравитационных процессов, дающих дополнительный источник нагрева, как это происходит на некоторых спутниках Сатурна и Юпитера.

С другой стороны, химия была бы схожей с нашим миром. Разница заключалась бы в том, что периодическая таблица окончилась бы на железе, за исключением очень

незначительных следов других элементов. Однако такое ограничение не запретило бы образование жизненных форм, схожих с известными нам. Так, даже во Вселенной с тремя фундаментальными взаимодействиями могла бы зародиться жизнь.

Иной подход, рассмотренный другим автором этой статьи (Александром Дженкинсом) с сотрудниками, представляет собой поиск альтернативных множеств законов физики, чтобы модифицировать Стандартную модель меньше, чем это делается в случае вселенной без слабого взаимодействия (при этом вводятся дополнительные параметры). В 2008 г. группа ученых изучала, до какой степени массы трех наиболее легких из шести кварков (называемых верхним, нижним и странным) могут меняться с сохранением органической химии. Изменение масс кварков неизбежно коснется того, какие барионы и какие атомные ядра могут существовать без быстрого распада. В свою очередь разный ассортимент атомных ядер затронет химию в целом.

Кварковая химия

Кажется правдоподобным, что разумная жизнь — если она не слишком сильно отличается от нашей — требует некоторого вида органической химии, которая по определению обладает углеродом. Химические свойства углерода суть следствия его атомного строения: его ядро обладает электрическим зарядом 6, т.е. на орбитах в нейтральном атоме углерода находятся шесть электронов. Эти свойства приводят к тому, что углерод создает огромное разнообразие молекул. Часто делаемое писателями-фантастами предположение о том, что жизнь может основываться на кремнии, следующем элементе в группе углерода в периодической таблице, спорно, поскольку нет сколько-нибудь значительного количества разнообразных молекул, основанных на кремнии. Кроме того, для формирования сложных органических молекул должны быть элементы с химическими свойства-

ми водорода (заряд 1) и кислорода (заряд 8). Для того чтобы увидеть, могут ли они порождать органическую химию, группа ученых должна была рассчитать, могут ли ядра с зарядами 1, 6 или 8 радиоактивно распадаться до того, как они смогли бы принять участие в химических реакциях (*врезка на стр. 22*).

Устойчивость ядер частично зависит от их масс, которая в свою очередь определяется массами составляющих их барионов. Вычисления масс барионов и ядер, если начинать расчет с масс кварков, очень сложны даже для нашей Вселенной. Однако после тонкой настройки интенсивности взаимодействия кварков можно использовать массы барионов, измеренные в нашей Вселенной, для оценки того, какие изменения масс кварков могли бы повлиять на массы ядер.

В нашем мире нейтрон ровно на 0,1% тяжелее протона. Если массы кварков изменились бы так, что нейтрон стал бы на 2% тяжелее протона, то не существовало бы устойчивых соединений углерода и кислорода. Если бы массы кварков были «настроены» таким образом, чтобы сделать протон тяжелее нейтрона, то протон в ядре водорода мог бы захватить электрон на орбите и превратиться в нейтрон — таким образом, атомы водорода не были бы устойчивыми в течение долгого времени. Но дейтерий или тритий (водород-3) могли бы все же быть устойчивыми и образовывать некоторые формы кислорода и углерода. Наши исследования показали, что даже если протон станет тяжелее нейтрона более чем на 1%, то могут исчезнуть некоторые устойчивые формы водорода.

С дейтерием (или тритием), замещающим водород-1, океаны наполнила бы «тяжелая вода», которая обладает всего лишь небольшими отличиями своих физических и химических свойств от обычной воды. В таких мирах не появится фундаментальных препятствий к развитию органической жизни.

В нашем мире третий легчайший кварк (странный кварк) слишком

тяжел, чтобы принимать участие в процессах ядерной физики. Однако если его масса сократится более чем в десять раз, то ядра можно будет сформировать не только из протонов и нейтронов, но также и из других барионов, содержащих странный кварк.

Например, наша научная группа выявила вселенную, в которой верхний и странный кварки могли бы иметь одинаковые массы, а нижний кварк был бы много легче. Атомные ядра состояли бы не из протонов с нейтронами — вместо нейтронов был бы другой барион, называемый «сигма минус». Важно отметить, что даже такая радикально отличная от нашей вселенная обладала бы устойчивыми формами водорода, углерода и кислорода и, таким образом, могла бы иметь органическую химию. Возникли бы такие элементы в достаточном количестве для появления где-нибудь жизни или нет — вопрос остается открытым.

Но если бы жизнь могла зародиться, могло бы случиться то же, что и в нашем мире. В такой вселенной физики столкнулись бы с вопросом, почему верхний и странный кварки обладают почти одинаковыми массами. Они могли бы даже представить, что такое удивительное совпадение имеет антропное объяснение, основанное на необходимости существования органической химии. Тем не менее нам известно, что такое объяснение было бы ложным, потому что наш мир тоже обладает органической химией, несмотря на то что массы верхнего и странного кварков различны.

С другой стороны, вселенные, в которых все три легких кварка имеют одинаковые массы, возможно, и не обладали бы органической химией: любое ядро с достаточно большим электрическим зарядом практически сразу же распалось бы. К сожалению, очень сложно воссоздать в деталях истории вселенных, физические параметры которых отличаются от наших. Эта тема требует дальнейшего исследования.

ЕСТЬ ТАМ КТО-НИБУДЬ?

Множество физических законов могут появиться из первичного вакуума. В большинстве случаев, включая те, о которых пойдет речь ниже, неизвестно, способна ли в таких вселенных зародиться жизнь. Но будущие исследования, вероятно, смогут ответить на этот вопрос

ПРАВИЛА ГЕЛИЯ

Определенные модификации вселенной без слабого взаимодействия могли бы привести к формированию вселенной практически без водорода; звезды были бы преимущественно из гелия

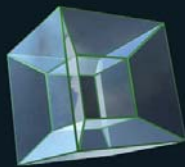
МНОГОКВАРКОВЫЕ

В нашей Вселенной кварки формируют частицы, объединяясь парами или тройками, но в других вселенных кварки могут объединяться в группы по четыре, пять и более

ВЫСШИЕ РАЗМЕРНОСТИ

Согласно теории суперструн, пространство обладает десяти измерениями. В нашей Вселенной все кроме трех скручены или по какой-то иной причине невидимы. А что если четыре или более измерений все-таки видимы?

Четырехмерный гиперкуб



Струнный ландшафт

Ученые получили косвенные свидетельства о существовании Мультивселенной с помощью моделирования и подгонки параметров. Остается ли под вопросом реальное существование Мультивселенной? Мы не думаем, что это обязательно, по двум причинам. Первая следует из наблюдений, согласуемых с теорией. Астрономические данные строго поддерживают гипотезу о том, что наша Вселенная родилась из крошечной области пространства-времени, возможно, размером с одну миллиардную часть протона. Затем Вселенная прошла через стадию быстрого — экспоненци-

ального — роста, называемую инфляцией. Космологи до сих пор не создали окончательной модели инфляции, но, согласно теории, различные области пространства-времени могли бы расширяться с различной скоростью, создавая таким образом нечто, напоминающее «карман», который мог бы стать самостоятельной вселенной со своими физическими константами. Пространство между отдельными «карманными» вселенными могло бы продолжать расширяться так быстро, что оказалось бы невозможным путешествовать и посылать сообщения от одной вселенной к другой, даже со скоростью света.

Вторая причина, позволяющая допустить существование Мультивселенной, следующая: величина космологической постоянной, меры энергии пустого пространства, «настроена» с необычайной степенью точности. Квантовая физика предсказывает, что энергией обладает даже пустое пространство. Общая теория относительности Эйнштейна гласит, что все формы энергии вызывают гравитацию. Если энергия положительная, это вынуждает пространство расширяться с экспоненциальной скоростью. Если отрицательная — вселенная сожмется в «Большом хлопке». Согласно квантовой теории, космологическая постоянная должна быть настолько велика по модулю, что пространство расширилось бы слишком быстро для того, чтобы успели сформироваться такие структуры, как галактики, или для того чтобы вселенная схлопнулась за доли секунды.

Один из способов объяснить, почему наша Вселенная избежала таких ужасов, — предположение, что какой-то член в уравнениях Эйнштейна погасил вклад космологической постоянной. Проблема в том, что этот член должен был бы быть «настроен» очень точно — отклонение его значения всего на сотый знак после запятой привело бы к отсутствию структур во Вселенной.

В 1987 г. Стивен Вайнберг (Steven Weinberg), лауреат Нобелевской пре-

мии, физик-теоретик из Техасского университета в Остине, предложил антропное объяснение. Он вычислил верхнее ограничение на величину космологической постоянной. Если ее реальное значение больше, то пространство расширилось бы так быстро, что во Вселенной не оказалось бы структур, которые необходимы для возникновения жизни. Таким образом, само наше существование доказывает, что значение космологической постоянной невелико.

Далее, в конце 1990-х гг. прошлого века астрономы обнаружили, что Вселенная расширяется ускоренно за счет неизвестной формы «темной энергии». Наблюдаемый темп расширения говорит о том, что космологическая постоянная мала и положительна — в рамках, предсказанных Вайнбергом: это означает, что темная энергия очень «разрежена».

Так, космологическая постоянная кажется «настроенной» с величайшей точностью. Кроме того, методы, приложенные нашей группой к слабому взаимодействию и массам кварков, кажутся в этом случае провальными, потому что, видимо, невозможно обнаружить родственные вселенные, в которых космологическая постоянная существенно больше наблюдаемого нами значения. В Мультивселенной огромное большинство вселенных могли бы иметь космологическую постоянную, при которой не образовалось бы никаких структур.

Аналог из реального мира — поход тысячи людей через труднопроходимую пустыню. Те несколько счастливиц, которые смогут это сделать и остаться в живых, расскажут захватывающие истории о ядовитых змеях и других смертельных опасностях, кажущихся слишком далекими от реальности.

Теоретические аргументы, рожденные в теории струн (спекулятивное расширение Стандартной модели и попытки описать все взаимодействия как колебания микроскопических струн), кажется, подтверждают такой сценарий. Эти

аргументы говорят, что во время инфляции космологическая постоянная и другие параметры могли обладать поистине безграничным разбросом различных значений, называемым «ландшафтом теории струн» (см.: Буссо Р., Полчински Й. *Ландшафт теории струн* // ВМН, № 12, 2004).

Наша собственная работа, тем не менее, подвергает сомнению полезность антропного принципа, по крайней мере вне случая космологической постоянной. Возникают также и важные проблемы. Например, если жизнь действительно возможна без слабого взаимодействия, тогда почему в нашей Вселенной оно вообще есть? Фактически физика частиц утверждает, что в нашей Вселенной есть слабое взаимодействие, но недостаточно слабое. Его наблюдательная величина кажется неестественно большой в Стандартной модели. Основное объяснение для этой загадки требует существо-

вания новых частиц и новых сил, которые физики надеются обнаружить на Большом адронном коллайдере.

Как следствие, многие теоретики ожидают, что основное количество вселенных обладают слабым взаимодействием, которое так слабо, что его можно считать практически отсутствующим. Таким образом, нет ничего удивительного в том, что мы живем во Вселенной, обладающей слабым взаимодействием.

Естественно, только глубокое знание того, как Вселенная родилась, поможет ответить на все эти вопросы. В частности, мы можем открыть физические принципы более фундаментальных уровней, гласящие, что природа принимает именно такие законы, а не иные.

Возможно, нам не суждено найти прямых указаний на существование других вселенных, и мы не сможем увидеть ни одну из них, но нам следует узнать о них больше, если

мы хотим понять наше истинное место в Мультивселенной или то, что таится за ее пределами. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Designer Universe? Steven Weinberg. Conference on Cosmic Design of the American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C., April 1999. Доступно онлайн на www.physlink.com/education/essay_weinberg.cfm.
- Термарк М. Параллельные вселенные // ВМН, № 8, 2003.
- A Universe without Weak Interactions. Roni Harnik, Graham D. Kribs and Gilad Perez in Physical Review D, Vol. 74, No. 3, pages 035006-1-035006-15; August 2006.
- Quark Masses: An Environmental Impact Statement. Robert I. Jaffe, Alejandro Jenkins and Itamar Kimchi in Physical Review D, Vol. 79, No. 6, pages 065014-1-065014-33; March 2009.



Электроника → **Транспорт**

2010

5-7 апреля 2010 г.
Москва, ВВЦ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

**Электроника, автоматика
информационные технологии
для ТРАНСПОРТА и ТРАНСПОРТНЫХ
КОММУНИКАЦИЙ**

**РОССИЙСКИМ
ПРОВЕРЕНО
ДОРОГАМИ**

<http://www.e-transport.ru>