

ШЕСТОДНЕВ, ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. НЕДОСТАТОЧНОСТЬ НАБЛЮДАЕМОЙ ВСЕЛЕННОЙ ДЛЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

ЧАСТЬ 1

Василий Васильевич Иваненков

кандидат биологических наук

независимый исследователь

ivanenvasv@gmail.com

Для цитирования: Иваненков В. В. Шестоднев, пространство и время. Недостаточность наблюдаемой Вселенной для возникновения живой природы. Часть 1 // Библейские схолии. 2025. № 1 (10). С. 58–82. DOI: 10.31802/BSCH.2025.10.1.004

Аннотация

УДК 2-172.2

В ранее предложенной двухвекторной модели первозданный мир Шестоднева (Быт. 1) и наблюдаемая Вселенная соотносятся как два состояния пространственно-временного континуума. Согласно модели, живая природа, созданная Творцом в первозданном пространстве-времени, вследствие грехопадения и «проклятия земли» (Быт. 3:17) оказалась в изменённом пространстве-времени нашего падшего мира. Модель даёт контринтуитивное предсказание, что наблюдаемая Вселенная недостаточна для возникновения живой природы. В статье проведена проверка этого предсказания с целью подтверждения или опровержения модели. Проанализирована научная литература по трём ключевым событиям на пути возникновения жизни и соответствующим научным проблемам. Тонкая настройка Вселенной (Часть 1): каким образом значения физических констант оказались в крайне узких диапазонах, при которых только и возможно существование живых организмов, хотя ничто в физике не мешает им быть другими? Происхождение жизни (Часть 2): как возникла генетическая информация, необходимая для функционирования первой «минимальной» клетки? Происхождение сложных многоклеточных организмов (Часть 3): как возникли сложные формы жизни, учитывая неадекватность

дарвиновского естественного отбора и генетического дрейфа в качестве механизмов происхождения сложных организмов от простых? Показано, что во многих научных работах учёные объясняют эти явления с помощью гипотезы мультивселенной. Предполагают, что в бесконечном ансамбле вселенных неизбежно существуют миры, подобные нашему, в которых все три события произошли случайно, хотя их вероятность в отдельно взятой вселенной ничтожно мала. Таким образом, данные этих работ и основанные на них выводы учёных подтверждают предсказание двухвекторной модели о недостаточности нашего мира для возникновения живой природы и, следовательно, подтверждают модель (Часть 4). Вывод модели о том, что в наблюдаемой Вселенной не было и нет механизмов, способных настроить физические константы на благоприятные для жизни значения, создать генетическую программу для первой живой клетки и привести к возникновению сложных организмов, вносит вклад в наше представление о мире и имеет практическое значение. Поиски таких механизмов, будучи научно обоснованными, тем не менее, обречены на неудачу.

Ключевые слова: сотворение мира, Шестоднев, грехопадение, пространство-время, двухвекторная модель, предсказательная сила теории, научный метод, тонкая настройка Вселенной, фундаментальные физические константы, мультивселенная.

Creation, Space and Time: The Insufficiency of the Observable Universe for the Origin of Living Nature

Part 1

Ivanenkov Vasily V.

PhD in Biology

Independent researcher

ivanenvasv@gmail.com

For citation: Ivanenkov V. V. "Creation, Space and Time: The Insufficiency of the Observable Universe for the Origin of Living Nature. Part 1". *Biblical Scholia*, No 1 (10), 2025, pp. 58–82 (in Russian). DOI: 10.31802/BSCH.2025.10.1.004

Abstract. A recently proposed two-vector model relates the first-created world (Gen. 1) and the observable universe as two states of the space-time continuum. According to the model, living nature and other objects created by God in the original space-time, as a result of the Fall and the «curse of the ground» (Gen. 3, 17), ended up in the altered space-time of the fallen world. The model makes a counterintuitive prediction that the observable universe is insufficient for the emergence of life. This four-part article tests this prediction to confirm or refute the model. The scientific literature on three key events on the path to the origin of life and the corresponding scientific problems is analyzed. The Fine-tuning of the Universe (Part 1): How did the values of fundamental physical constants end up in extremely narrow ranges in which only living organisms can exist, although nothing in physics prevents them from being different? The Origin of Life (Part 2): How did the genetic information necessary for the functioning of the first «minimal» cell arise?

The Origin of Complex Multicellular Organisms (Part 3): How did complex life forms emerge, given the inadequacy of Darwinian natural selection and genetic drift as mechanisms for the origin of complex organisms from simple ones? It is shown that in many scientific publications, scientists explain these phenomena using the multiverse hypothesis. They assume that in the infinitely ensemble of universes, there inevitably exist worlds like ours in which all three events occurred by chance, although their probability in a single universe is vanishingly small. Thus, the data presented in these works and the conclusions drawn by scientists confirm the prediction of the two-vector model about the insufficiency of the observable world for the origin of living nature and, therefore, confirm the model (Part 4). The model's implication that in the observable universe there were no mechanisms capable of setting up the physical constants to values favorable for life, building a genetic program for the first living cell, and creating complex organisms, makes a contribution to our understanding of the world, and has practical significance. The search for such mechanisms, although scientifically legitimate, is nevertheless doomed to failure.

Keywords: creation, six days of creation, fall, space-time, two-vector model, predictive power of a theory, scientific method, fine-tuning of the universe, fundamental physical constants, multiverse.

Введение. Мир до и после грехопадения. Как проверить двухвекторную модель соотнесения?

Первозданный мир (Быт. 1), созданный Богом «хорошо весьма» (Быт. 1, 31), крайне непохож на мир, в котором мы живём, где, по словам апостола Павла, «вся тварь совокупно стонет и мучится» (Рим. 8, 22). Научные представления о происхождении Земли и Вселенной также сильно отличаются от библейского повествования о творении мира за шесть «дней» (Быт. 1). Где же на оси времени Вселенной находятся эти «дни», так не похожие на наше время?

Предложенная ранее двухвекторная модель соотнесения мира Шестоднева (Быт. 1) и наблюдаемой Вселенной (рис. 1А) основана на свидетельствах Священного Писания о различной природе времени и, соответственно, пространства-времени до и после грехопадения и «проклятия земли» (Быт. 3, 17). Из модели следует, что шесть «дней» творения не являются частью времени наблюдаемого мира, исчисляемого с момента Большого взрыва, и их продолжительность нельзя измерить в единицах известного нам времени¹.

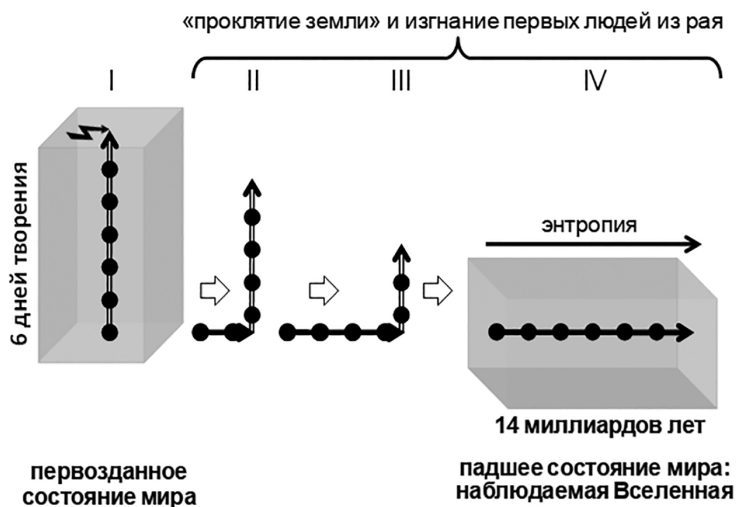
Двухвекторная модель объясняет тот замечательный факт, что в наблюдаемой Вселенной (рис. 1АIV) сохранилась в общих чертах последовательность событий Шестоднева (рис. 1АI). Однако вследствие действия второго закона термодинамики история падшего мира неизбежно отличается от библейского повествования. Будучи единственной концепцией, учитывающей данные Священного Писания о разнокачественности пространства-времени первозданного состояния Вселенной и наблюдаемого падшего, двухвекторная модель устраняет неизбежные противоречия, характерные для чрезмерно упрощённых и вследствие этого неверных «одновекторных» моделей младоземельного креационизма и теистического эволюционизма².

Но возможно ли проверить двухвекторную модель научным методом? Прямым способом, конечно, нет, поскольку применение научной методологии ограничено пространством-временем наблюдаемой Вселенной (рис. 1АIV). Однако модель делает специфическое и контринтуитивное предсказание о свойствах нашего мира, которое можно проверить путём наблюдения и эксперимента. Согласно двухвекторной модели, живая природа была создана сверхъестественным образом

1 Иваненков В. В. Шестоднев, грехопадение и время. [Электронный ресурс]. URL: <https://bogoslav.ru/article/6192985> (дата обращения: 15.07.2024).

2 Там же.

А ДВУХВЕКТОРНАЯ МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЙ МИРА ДО И ПОСЛЕ ГРЕХОПАДЕНИЯ



Б НАУЧНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ СОБЫТИЙ, ПРИВЕДШИХ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

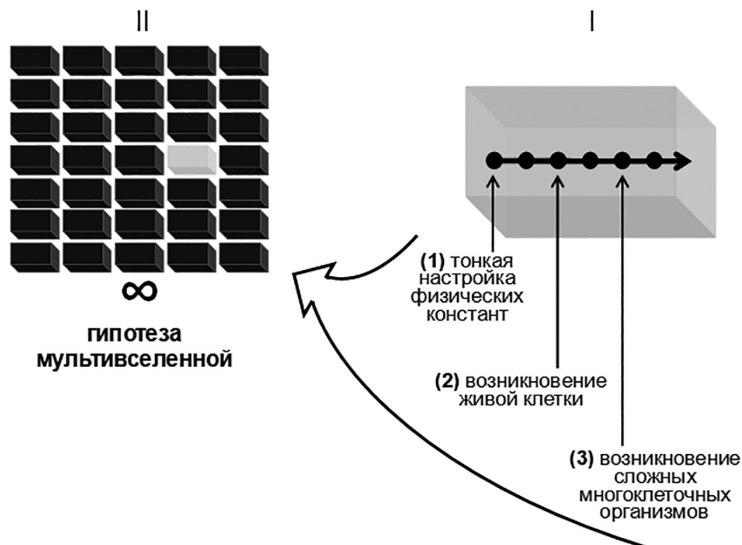


Рис. 1. Проверка предсказания двухвекторной модели о недостаточности наблюдаемой Вселенной для возникновения живой природы (путеводитель по статье)

в первозданном состоянии пространства-времени (вертикальный вектор времени на рис. 1АI), и её происхождение никак не связано с естественными процессами в наблюдаемой Вселенной (горизонтальный вектор времени на рис. 1АIV). Таким образом, модель предсказывает, что в эмпирическом мире, доступном для научного исследования, никогда не было и нет механизмов³, способных создать живые организмы. Или, другими словами, наблюдаемая Вселенная недостаточна для возникновения живой природы.

Задача исследования состоит в проверке этого предсказания с целью подтверждения или опровержения двухвекторной модели. Дорожная карта работы представлена на рис. 1Б.

(А) Двухвекторная модель соотношения состояний мира до и после грехопадения. Время первозданного мира (АI, вертикальный вектор) отличается от времени наблюдаемого падшего состояния (АIV, горизонтальный вектор) по направленности. Время неразрывно связано с пространством в единую 4-мерную сущность — пространство-время. Всё множество событий составляет пространство-время в целом, или блок-вселенную (изображена в виде двух параллелепипедов, соответствующих двум состояниям пространства-времени). Живая природа и другие объекты, созданные Творцом в течение шести «дней» (Быт. 1), показаны чёрными кружками на картинке АI. Вследствие грехопадения и «проклятия земли» (Быт. 3, 17), обозначенных символом молнии, они оказались в изменённом пространстве-времени падшего мира (АII, АIII и АIV; для упрощения рисунка пространство на картинках АII и АIII не показано)⁴. Подробное описание двухвекторной модели см. (Иваненков, 2023)⁵. Модель предсказывает, что в наблюдаемом мире (АIV) не было и нет механизмов, способных создать живую природу. (Б) Статья посвящена проверке этого предсказания. Показано, что во многих научных работах для объяснения центральных событий на пути возникновения жизни (БI), таких как установка физических констант Вселенной на подходящие для жизни

3 Здесь и далее понятие «механизм» означает «совокупность состояний и процессов, из которых складывается какое-л. физическое, химическое, физиологическое и т. п. явление». См.: *Словарь русского языка: В 4-х т. / РАН, Ин-т лингвистич. исследований; Под ред. А. П. Евгеньевой. М., 1999. [Электронный ресурс]. URL: <http://feb-web.ru/feb/mas/mas-abc/13/ma226228.htm?cmd=0&istext=1> (дата обращения: 19.08.2024).*

4 С философской точки зрения пространство и время представляют собой «формы существования» материи [Спиркин А. Г. *Философия: Учебник. М., 2006. С. 253–254*]. Используя эту терминологию, можно трактовать два состояния пространства-времени как две «формы существования» материальных объектов до и после грехопадения.

5 Иваненков В. В. Шестоднев, грехопадение и время.

значения (Часть 1), возникновение живой клетки (Часть 2) и происхождение сложных организмов (Часть 3), учёные прибегают к гипотезе существования мультивселенной и действию случая (БП). Эти данные и выводы учёных подтверждают предсказание двухвекторной модели о недостаточности наблюдаемой Вселенной для возникновения живой природы и, следовательно, подтверждают модель (обсуждение в Части 4). Светлый параллелепипед на картинке (БП) обозначает «удачную вселенную» (наш мир), где случайно возникла жизнь. Множество безжизненных миров в мультивселенной показано чёрным цветом.

Материалы и методы

Исследование проводилось методом анализа научной литературы. Материалом для исследования послужили публикации в научных журналах, а также несколько монографий и научно-популярных книг известных учёных.

Результаты и обсуждение. Вселенная для жизни: тонкая настройка тонкой настройки физических параметров неживой материи

Согласно Священному Писанию, в первый «день» творения мира неживая материя была подготовлена сверхъестественным действием к рождению жизни: «Земля же была безвидна и пуста, и тьма над бездною, и Дух Божий носился над водою» (Быт. 1, 2). Святые отцы толкуют эти слова как «приготовление водного естества к рождению живых тварей»⁶ и «вложение родотворной силы в воды, в землю и в воздух»⁷. В двухвекторной модели эти события относятся к первому «дню» первозданного состояния мира (вертикальный вектор времени на рис. 1AI). Вследствие грехопадения и последовавшего «проклятия земли» (Быт. 3, 17) «приготовленная» материя и созданные из неё творения оказались в наблюдаемом падшем состоянии мира (горизонтальный вектор на рис. 1AIV). Модель предсказывает, что в наблюдаемой Вселенной не было и нет механизмов, способных создать подходящий, «приготовленный» материал для построения живых организмов.

6 Василий Великий, *свт.* Беседы на Шестоднев.

7 Ефрем Сирий, *преп.* Толкования на Священное Писание. Книга Бытия.

В первой части статьи мы рассмотрим особые физические свойства материи, которые представляются абсолютно необходимыми для существования жизни. Мы также обсудим научные представления о происхождении этих свойств и сравним их с предсказанием двухвекторной модели для её проверки.

Развитие науки во второй половине XX века привело учёных к осознанию замечательного факта: значения физических констант находятся в очень узких диапазонах, при которых только и возможно существование сложных структур, включая живые организмы. Будь они немного другими, во Вселенной не было бы ни атомов, ни звёзд, ни жизни. Эта концепция получила название тонкой настройки Вселенной. Австралийские астрофизики Герайнт Льюис и Люк Барнс в книге «Удачная Вселенная: жизнь в тонко настроенном космосе» (2016) дают следующее определение: «Тонкая настройка Вселенной для жизни... это утверждение, что небольшие изменения свободных параметров законов природы (констант, определяемых экспериментально. — В. И.) имеют драматические и пагубные последствия для способности Вселенной поддерживать сложность организации, свойственную жизни»⁸. Или в более формализованном виде: «Во множестве возможных значений физических параметров, подмножество, допускающее развитие жизни, очень мало»⁹. Мы приведём несколько примеров настройки физических констант на «правильные» значения, подходящие для жизни, и обсудим, как учёные объясняют этот феномен, рис. 1Б1(1).

Вещество для жизни

Для существования и функционирования живых организмов нужны как минимум три материальных компонента: разнообразные химические элементы, источники энергии и силы взаимодействия между атомами, обеспечивающие протекание химических реакций, превращение энергии и формирование сложных молекулярных структур. В последние несколько десятилетий стало ясно, что наличие во Вселенной всех трёх составляющих критически зависит от значений ряда физических констант.

8 *Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. Cambridge, 2016. P. 29.*

9 *Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life // Publications of the Astronomical Society of Australia. 2012. Vol. 29. P. 529–564.*

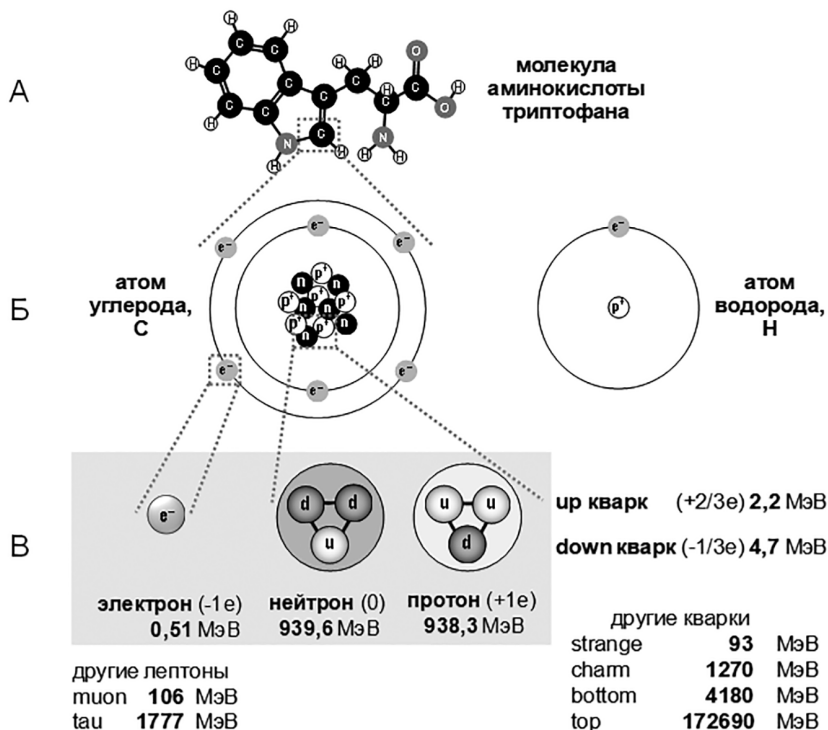


Рис. 2. Строительные блоки жизни

Всё живое состоит из клеток, клетки — из молекул, а молекулы — из атомов (рис. 2А и 2Б). Атомы химических элементов построены из электронов и двух видов частиц, образующих атомные ядра, — протонов и нейтронов. Протоны и нейтроны состоят из up-кварков и down-кварков (рис. 2В). Электрон и кварки считаются *фундаментальными элементарными частицами*, не имеющими составных частей. Таким образом, всё многообразие вещественных объектов, включая живые организмы, построено всего лишь из трёх типов частиц — электронов, up-кварков и down-кварков!

Молекулярная машина клетки построена из белков, нуклеиновых кислот, углеводов и липидов. Белки представляют собой наиболее сложные и функционально разнообразные полимерные молекулы, формирующие признаки организмов. Они синтезируются в клетке из 20 видов аминокислот, одна из которых — триптофан, показана на картинке (А). Биологические молекулы состоят из атомов углерода — С, водорода — Н,

кислорода — O, и азота — N, а также фосфора — P, и серы — S. (Б) Атомы построены из положительного заряженного ядра и облака окружающих его отрицательно заряженных электронов. Атомное ядро состоит из положительно заряженных протонов (p^+) и незаряженных нейтронов (n), которые вместе называются нуклонами. Нейтроны атомного ядра удерживают друг друга и протоны посредством сильного ядерного взаимодействия. (В) Нуклоны состоят из кварков: два up-кварка и один down-кварк образуют протон, а два down-кварка и один up-кварк — нейтрон. Кварки имеют заряд и массу. Массы элементарных частиц выражены в единицах энергии — мегаэлектронвольтах (МэВ — миллион электронвольт) — согласно эквивалентности энергии и массы в формуле Эйнштейна $E = mc^2$. Массы кварков составляют лишь малую часть общей массы протона и нейтрона; основная масса нуклонов приходится на энергии движения и взаимодействия кварков. Помимо «лёгких» up- и down-кварков на рисунке указаны названия и массы ещё четырёх «тяжёлых» кварков, обнаруженных в экспериментах. Электрон входит в группу частиц, называемых лептонами. Он имеет наименьшую массу среди трёх известных отрицательно заряженных лептонов, показанных на рисунке. Данные о массах элементарных частиц взяты из статьи (Workman et al., 2022)¹⁰.

Массы электрона, протона, нейтрона и кварков одинаковы у всех частиц данного типа и являются *фундаментальными константами* (рис. 2В). Их можно измерить, но нельзя вычислить или предсказать, исходя из существующей теории. Они представляют собой основные, фундаментальные параметры природы, не выводимые из других. В теории строения и взаимодействий элементарных частиц — Стандартной модели физики элементарных частиц — учёные насчитывают по крайней мере 26 фундаментальных констант¹¹.

По современным представлениям, электроны, кварки и нуклоны образовались в остывающей Вселенной в первые доли секунды после Большого взрыва. Предполагают, что значения их масс определились случайным образом. В теории элементарных частиц ничто не запрещает им быть другими, поэтому их называют «произвольными» или «свободными» параметрами. Физик Лев Окунь поясняет: «Вопрос о том, будут ли в окончательной физической теории фиксированы условием

10 Workman R. L. et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics // Progress of Theoretical and Experimental Physics. 2022. Vol. 2022. P. 083C01.

11 Adams F. C. The Degree of Fine-tuning in Our Universe — and Others // Physics Reports. 2019. Vol. 807. P. 1–111.

непротиворечивости теории все безразмерные параметры или некоторые из них останутся произвольными, сегодня является вопросом веры. Научного ответа он пока не имеет. Слово «произвольный» означает в данном контексте, что данный безразмерный параметр принял своё значение в процессе космологической эволюции вселенной на её ранней стадии. При этом с большей или меньшей вероятностью он мог бы принять и другие значения»¹². Такое же мнение высказывает немецкий физик Х. Фритцш: «Возможно, их (фундаментальных констант. — В. И.) значения являются случайными реликтами Большого взрыва. Некоторые физики полагают, что по крайней мере часть фундаментальных констант являются просто случайными космическими числами, значения которых фиксируются деталями динамики Большого взрыва. Очевидно, в этом случае вычислить значения фундаментальных констант нельзя»¹³.

Массы лептонов, кварков, нейтрона и протона действительно выглядят как случайные величины, охватывающие широкий диапазон значений от 0,51 МэВ (электрон) до 172690 МэВ (top кварк), рис. 2В. Что особенного в этих числах? Какой была бы Вселенная, если бы массы частиц были другими? Возможность провести теоретические эксперименты и ответить на эти вопросы появилась совсем недавно после разработки во второй половине XX века теории строения и взаимодействий элементарных частиц, известной как Стандартная модель физики элементарных частиц. Эта теория с большой степенью достоверности описывает устройство нашего мира, причём сделанные на её основе предсказания были многократно проверены и подтверждены экспериментально. Используя эту теорию, учёные обнаружили замечательную особенность параметров электрона, протона, нейтрона и кварков. Оказалось, что относительно небольшие изменения их масс привели бы к формированию вселенной, в которой нет химии и тем более — жизни.

Экспериментально установлено, что нейтрон приблизительно на 0,1% тяжелее протона (рис. 2В). Какое это имеет значение? Насколько важна небольшая разница в массах нейтрона и протона? Физик-космолог Александр Виленкин в популярной книге «Мир множества миров» так описывает радикальные последствия изменений масс нуклонов. «Предположим теперь, что мы повернули регулятор массы нейтрона

12 Окунь Л. Б. Фундаментальные константы физики // Успехи физических наук. 1991. Т. 161. С. 177–194.

13 Фритцш Х. Фундаментальные физические постоянные // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. С. 383–392.

в сторону меньших значений. Внесём очень маленькую коррекцию, не больше 0,2%, чтобы соотношение масс протона и нейтрона изменилось на противоположное. Теперь протоны становятся нестабильными и распадаются на нейтроны и позитроны. Протоны по-прежнему могут оставаться стабильными внутри атомных ядер, но, если повернуть ручку сильнее, они будут распадаться и там. В результате ядра потеряют свой электрический заряд, атомы распадутся, поскольку нечему будет удерживать электроны на околоядерных орбитах. Свободные электроны будут образовывать тесные пары с позитронами. Сплетааясь в смертельном танце, они быстро аннигилируют, превратившись в фотоны. Мы в итоге останемся в «нейтронном мире» (здесь и в конце цитаты курсив наш. — В. И.), состоящем из изолированных нейтронных ядер и излучения. В этом мире не будет химии, не будет сложных структур и не будет жизни. Теперь повернём регулятор массы нейтрона в другую сторону. И вновь увеличение массы лишь на малую долю приведёт к катастрофическим изменениям. С увеличением массы нейтроны становятся более нестабильными и с некоторого момента начинают распадаться внутри атомных ядер, превращаясь в протоны. Ядра после этого разрываются из-за электрического отталкивания протонов, которые, обрета свободу, объединяются с электронами и образуют атомы водорода. Получается довольно скучный «водородный мир», в котором не может существовать никаких других элементов»¹⁴.

Нейтрон немного тяжелее протона в связи с тем, что down-кварк тяжелее up-кварка^{15, 16} (при этом основная масса нуклонов обусловлена энергией движения и взаимодействия между кварками). Таким образом, стабильность нуклонов и само существование атомов химических элементов критически зависит от значений фундаментальных параметров: массы up-кварка (2,2 МэВ) и массы down-кварка (4,7 МэВ).

Последствия изменений масс кварков и электрона подробно рассмотрены в ранее упомянутых статье Барнса¹⁷ и книге Льюиса и Барнса¹⁸ (рис. 3). Увеличение массы down-кварка приведёт к увеличению разности масс нейтрона и протона, что, как уже было сказано, вызовет

14 Виленкин А. В. Мир множества миров. Физики в поисках иных вселенных. М., 2018. С. 167–168.

15 Окунь Л. Б. Фундаментальные константы физики.

16 Chang S. The Neutron and Proton Weigh in, Theoretically // Physics Today. 2015. Vol. 68 (6). С. 17–18.

17 Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life.

18 Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos.

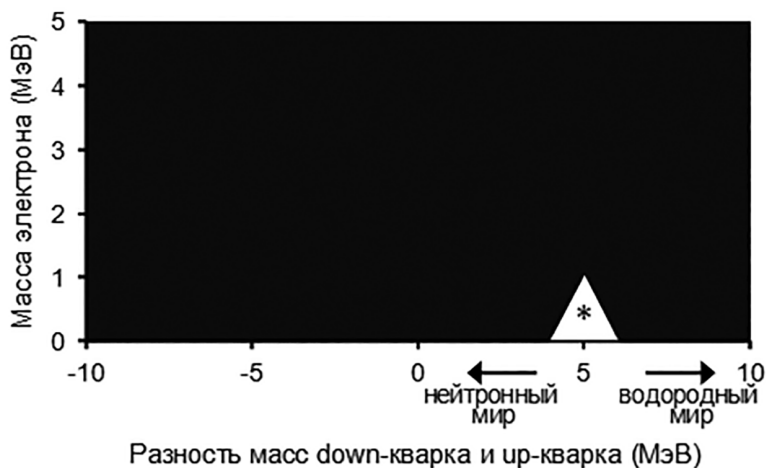


Рис. 3. Последствия изменений масс down-кварка, up-кварка и электрона

распад нейтронов. В такой вселенной, содержащей всего один химический элемент — водород, протекание химических реакций (кроме объединения атомов водорода в молекулы H_2), образование сложных молекул и формирование живых систем будет невозможно. Если увеличить массу up-кварка, то масса протона превысит массу нейтрона, протоны станут нестабильными и будут распадаться на нейтроны и позитроны. В подобном «нейтронном мире» не будет ни атомов, ни молекул, ни жизни. Изменение параметров электрона также приводит к радикальным последствиям. Стоит только увеличить его массу (0,51 MeV) в 2,5 раза, и мы опять окажемся в «нейтронном мире» без химии и сложных структур¹⁹.

Каждая точка на диаграмме обозначает вселенную с данными значениями массы электрона и разности масс кварков; место нашей Вселенной показано звёздочкой. Значения параметров во вселенных с неинтересной химией показаны чёрным цветом, а небольшая область, подходящая для химии живой природы, выделена белым цветом. Для построения рисунка использованы данные из статьи (Hogan, 2007)²⁰ и книги (Lewis and Barnes, 2016)²¹. Во время публикации работы (Hogan, 2007) массы

19 Ibid. P. 51.

20 Hogan C. J. Quarks, Electrons, and Atoms in Closely Related Universes // *Universe or Multiverse?* / ed. B. J. Carr. Cambridge, 2007. P. 221.

21 Lewis G. F., Barnes L. A. *A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos*.

down-кварка и up-кварка оценивали приблизительно в 10 МэВ и 5 МэВ. Поэтому на графике показана разность масс кварков в нашей Вселенной, равная 5 МэВ. По уточнённым данным (Workman et al., 2022)²², массы down-кварка и up-кварка составляют приблизительно 4,7 МэВ и 2,2 МэВ. С учётом этих данных следует сдвинуть белый треугольник и место нашей Вселенной на графике влево до разности масс кварков 2,5 МэВ.

Как уже упоминалось, по мнению физиков, эти параметры приняли свои значения случайным образом в первые доли секунды после Большого взрыва, причём ничто в современной теории не мешает им быть другими. Какова вероятность случайной установки масс двух кварков и электрона на подходящие для существования живой природы значения? Другими словами, насколько мала белая часть графика по сравнению с чёрной на рис. 3? Чтобы сделать оценку, нужно определить максимальный теоретически возможный интервал варьирования масс электрона и кварков, то есть длину осей графика.

Льюис и Барнс пишут в своей книге, что если за верхнюю границу возможной массы частиц (кварков и электрона) принять массу самой тяжёлой наблюдаемой частицы — топ-кварка (172690 МэВ), то потребовалось бы увеличить оси графика на рис. 3 приблизительно на километр вправо, влево и вверх, причём вся площадь будет чёрной кроме небольшого белого участка пригодных для жизни параметров²³ (по нашим расчётам, благоприятная для жизни область графика составила бы порядка 2×10^{-11} часть от непригодной чёрной области). Однако нет никаких оснований считать массу топ-кварка предельной. В существующей теории верхняя граница массы частицы задаётся так называемой массой Планка, равной приблизительно $2,4 \times 10^{22}$ массам электрона. Барнс даёт следующую оценку настройки масс кварков в пространстве теоретически возможных параметров: «... Барр и Хан (2007)²⁴ исследовали последствия варьирования масс up- и down-кварков и показали, что вселенные, где могут существовать звёзды и протекать химические процессы, сгруппировались на маленьком островке подходящих значений параметров (масс кварков. — В. И.), площадь которого составляет $\approx 10^{-42}$ от пространства возможных значений»²⁵.

22 Workman R. L. et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics.

23 Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. P. 52–53.

24 Barr S. M., Khan A. Anthropic Tuning of the Weak Scale and of Mu/Md in Two-Higgs-doublet Models // Physical Review D. 2007. Vol. 76. P. 045002.

25 Barnes L. A. Testing the Multiverse: Bayes, Fine-tuning and Typicality // The Philosophy of Cosmology / ed. K. Chamcham, J. Silk, J. D. Barrow, S. Saunders. Cambridge, 2017. P. 447–466.

Таким образом, массы кварков и электрона, определившиеся случайно вскоре после Большого взрыва, оказались в чрезвычайно узком интервале значений, при которых только и возможно существование разнообразных химических элементов, необходимых для построения биологических молекул и живых организмов. Ничтожно малая вероятность случайного «попадания» этих параметров в благоприятную для жизни область требует объяснения. Мы рассмотрим научную интерпретацию этого феномена в конце статьи и сравним с предсказанием двухвекторной модели.

Силы и энергия

Частицы мироздания образуют сложные структуры благодаря силам взаимодействия. Силы удерживают кварки в протонах и нейтронах, а также протоны и нейтроны в атомных ядрах. Силы притяжения между атомными ядрами и электронами обеспечивают стабильность атомов. Вследствие взаимодействия между атомами протекают химические реакции и образуются молекулы. Живая клетка представляет собой крайне сложную машину, состоящую из множества взаимодействующих друг с другом молекул.

В физических законах, описывающих силы, присутствуют постоянные величины — константы взаимодействия, которые определяют, насколько велика та или иная сила. Подобно массам элементарных частиц, константы взаимодействия не следуют из теории, их можно измерить, но нельзя вычислить. Что особенного в том, что они имеют именно такие, наблюдаемые значения? Какой была бы Вселенная, если бы их величины были иными? В этом разделе мы рассмотрим влияние констант взаимодействия на возможность существования во Вселенной сложных структур, включая звёзды и живые организмы.

Многообразные природные процессы сводятся к действию всего четырёх фундаментальных сил (рис. 4). В повседневной жизни мы ощущаем только две из них: гравитацию (притяжение Земли, приливы и отливы, вызванные гравитацией Луны, и др.) и электромагнетизм (упругость, трение, все виды электромагнитного излучения, включая свет и радиоволны, вся химия и пр.). Две другие силы — слабое ядерное взаимодействие, ответственное за радиоактивность и сильное ядерное взаимодействие, которое удерживает вместе кварки в нейтронах и протонах, а также нейтроны и протоны в ядрах, — проявляются в масштабе атомного ядра, и поэтому мы их не чувствуем. Константы взаимодействия,

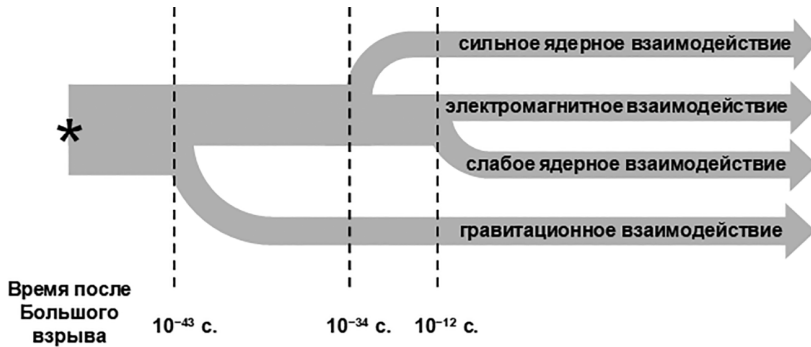


Рис. 4. Четыре фундаментальные силы природы. Для создания рисунка использованы данные из книги (Ridpath, 2006)²⁶.

входящие в уравнения физических законов, называются фундаментальными, так как не выводятся из других величин. Например, гравитационная постоянная G ($6,67 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$) в законе всемирного тяготения:

$$F = \frac{G \times m_1 \times m_2}{r^2},$$

определяет тот факт, что два тела (m_1 и m_2) массой 1 кг каждое, расположенные на расстоянии (r) 1 метр, притягиваются друг к другу с силой (F) $6,67 \times 10^{-11}$ ньютона (приблизительно $6,8 \times 10^{-3}$ микрограмма силы).

По современным представлениям, константы взаимодействия приняли свои значения вскоре (порядка 10^{-43} – 10^{-12} секунды) после Большого взрыва в результате космологических фазовых переходов и спонтанных нарушений симметрии (рис. 4). Причём, по мнению учёных, значения констант установились случайным образом и могли быть другими. Из книги английского астрофизика Мартина Риса «Всего шесть чисел»: «Здесь можно провести аналогию с фазовым переходом, таким как хорошо знакомое явление превращения воды в лёд. Когда инфляционная эпоха отдельной вселенной заканчивалась, сам космос (вакуум) претерпевал резкие изменения. Фундаментальные силы — гравитационная, ядерная и электромагнитная — с падением температуры «застывают», фиксируя значения N и ϵ способом, который может считаться «случайным», совсем как рисунок ледяных кристаллов, когда замерзает вода»²⁷.

26 Ridpath I., Stott C., Sparrow G. Astronomy — DK's Eyewitness Companions. 2006. С. 48.

27 Рис М. Д. Всего шесть чисел. Главные силы, формирующие Вселенную. М., 2018. С. 198–199. Число $N = 10^{36}$ показывает, во сколько раз сила гравитационного притяжения двух

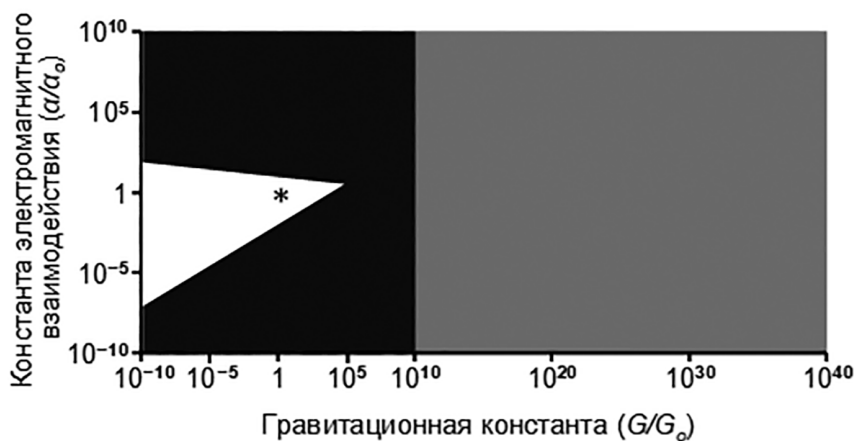


Рис. 5. Устойчивость звёзд зависит от сил гравитации G (горизонтальная ось) и электромагнитного взаимодействия α (вертикальная ось)

Примечательно, что сила гравитации «застыла» на чрезвычайно низком уровне по сравнению с силами электромагнитного и ядерного взаимодействия. Так, сила гравитационного притяжения между двумя протонами меньше силы электрического отталкивания в $N = 10^{36}$ раз! Обе силы обратно пропорциональны квадрату расстояния, поэтому число N не зависит от расстояния между протонами и полностью определяется отношением фундаментальных констант электромагнитного взаимодействия и гравитации. По отношению к силе сильного ядерного взаимодействия сила гравитации меньше примерно в 10^{40} раз²⁸. Насколько важны эти «случайные» параметры космоса в качестве условий для существования жизни? Теория и модели звёзд предсказывают, что для устойчивого равновесия между силой гравитационного сжатия звезды и противодействующему ей давлению, возникающему вследствие термоядерных реакций, гравитация должна быть не только слабой, но и крайне слабой по отношению к другим силам (рис. 5). По данным американского астрофизика Фреда Адамса, если бы гравитация была меньше силы сильного ядерного взаимодействия не в 10^{40} раз, а в 10^{35} , то формирование стабильных звёзд было бы невозможно

протонов меньше силы электрического отталкивания. Число $\epsilon = 0,007$ показывает, какая часть массы водорода превращается в энергию в процессе термоядерного синтеза гелия из водорода.

(область графика на рис. 5 со значениями $G/G_0 > 10^5$)²⁹. В такой вселенной не будет устойчивых источников лучистой энергии, необходимой как для функционирования живых систем, которые преобразуют её в энергию химических связей, так и для поддержания благоприятной для жизни температуры окружающей среды.

Каждая точка на диаграмме обозначает гипотетическую вселенную с теми или иными значениями α и G . Белая область соответствует вселенным со стабильными звёздами; место нашей Вселенной обозначено звёздочкой. Чёрным и серым цветом показаны области параметров, при которых формирование устойчивых звёзд невозможно. По осям отложены отношения значений α и G в гипотетических вселенных к величинам этих констант (α_0 и G_0) в нашей Вселенной. Рисунок построен с использованием данных из статей (Adams, 2008)³⁰ и (Barnes, 2012)³¹, а также книги (Lewis and Barnes, 2016)³². Чёрным цветом показана область возможных значений G и α , принятая в статье (Adams, 2008). Серым цветом изображена дополнительная область непригодных для существования стабильных звёзд параметров, при условии, что сила гравитации может быть такой же большой, как и сила сильного ядерного взаимодействия.

Как отмечает Люк Барнс, данные из статьи Адамса (рис. 5, слева от $G/G_0 = 10^{10}$) показывают область стабильных звёзд (белый треугольник), но не отображают пространство всех возможных значений G и α и поэтому не дают представления о том, насколько относительно мала эта область. Если допустить, рассуждает Барнс, что сила гравитации может принимать значения вплоть до величины силы сильного ядерного взаимодействия, которая, напомним, в нашей Вселенной приблизительно в 10^{40} раз сильнее гравитации (серая область на рис. 5), и изменить масштаб осей с логарифмического на линейный, то область устойчивых звёзд будет занимать менее 10^{-35} части от всей площади графика^{33,34}.

29 Adams F. C. Stars in Other Universes: Stellar Structure With Different Fundamental Constants // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2008. Vol. 8. P. 10 – 38.

30 Adams F. C. Stars in Other Universes.

31 Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life.

32 Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. P. 110.

33 Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. P. 111. Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life.

34 В логарифмической шкале, принятой на рис. 5, также нельзя избежать вывода о тонкой настройке. Ноль является возможным значением G и, следовательно, входит в пространство параметров. Тем не менее без силы гравитации нечему будет удерживать вещество в звёздах. Поэтому существует минимальное значение G_{\min} , ограничивающее область стабильных

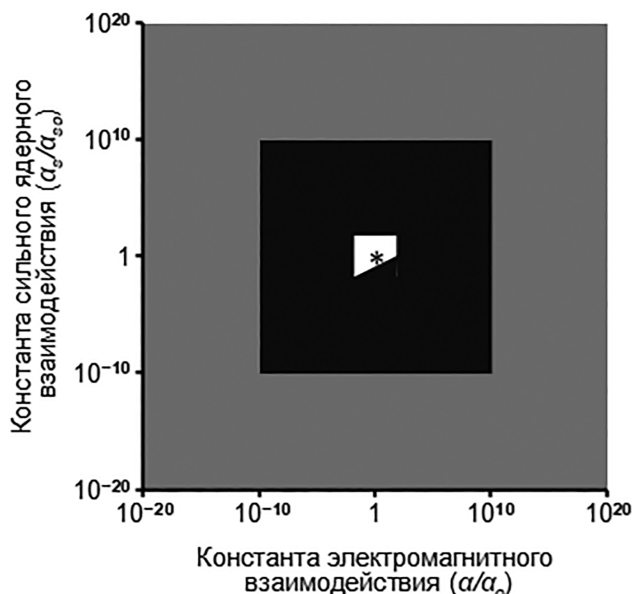


Рис. 6. Пригодные для жизни значения констант электромагнитного взаимодействия α и сильного ядерного взаимодействия α_s

Таким образом, во множестве теоретически допустимых значений G и α , подмножество, позволяющее формирование стабильных звёзд, очень мало. Факт существования стабильно горящих звёзд, включая главный источник энергии для всего живого на Земле — Солнце, свидетельствует о тонкой настройке констант G и α в нашей Вселенной на благоприятные для жизни значения.

В качестве ещё одного примера рассмотрим настройку констант электромагнитного взаимодействия α и сильного ядерного взаимодействия α_s (рис. 6).

звёзд (белую область на рис. 5) слева. В логарифмическом масштабе, если G (а также G/G_0) стремится к нулю, то $\log G/G_0$ стремится к отрицательной бесконечности и, следовательно, пространство параметров слева от белого треугольника (то есть слева от $G_{\text{мин}}/G_0$) будет бесконечно большим. На таком графике область подходящих параметров будет занимать бесконечно малую часть от общей площади, что означает бесконечно точную настройку [Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life]. Ноль также является возможным значением параметра электромагнитной силы α [Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. P. 91–92]. Если $\alpha = 0$, то в логарифмической шкале чёрная часть графика снизу от белого треугольника становится бесконечно большой, а отношение области стабильных звёзд к общей площади графика — бесконечно малой величиной.

Каждая точка на рисунке соответствует гипотетической вселенной с теми или иными значениями α и α_s . Белая область в виде трапеции обозначает вселенные с пригодными для жизни параметрами; место нашей Вселенной показано звёздочкой. Чёрным и серым цветом обозначены области значений α и α_s , при которых существование живых организмов невозможно. По осям отложены отношения значений α и α_s в гипотетических вселенных к величинам этих констант (α_0 и α_{s0}) в нашей Вселенной. Для построения рисунка использованы данные из статьи (Adams, 2019)³⁵. Чёрным цветом показана область возможных значений α и α_s , принятая в статье (Adams, 2019). Серым цветом обозначено дополнительное множество непригодных для жизни значений α и α_s , если расширить диапазон варьирования параметров до 40 порядков.

Область пригодных для жизни параметров ограничена рядом условий, вытекающих из физических теорий³⁶. В частности, требуется достаточно большая величина электромагнитного взаимодействия α , чтобы положительно заряженные ядра атомов удерживали отрицательно заряженные электроны на околоядерных орбитах, протекали химические реакции, обусловленные электрическим взаимодействием электронов и ядер соседствующих атомов, а также существовали стабильные звёзды (граница белой области на рис. 6 слева). С другой стороны, при слишком больших значениях α сила электрического отталкивания протонов в ядрах возрастает настолько, что химические элементы становятся нестабильными и самопроизвольно распадаются. Это и другие требования устанавливают максимально допустимый предел силы электромагнитного взаимодействия (граница белой области на рис. 6 справа).

Сильное ядерное взаимодействие, определяемое параметром α_s , удерживает протоны и нейтроны в атомных ядрах. Чтобы химические элементы, необходимые для живой природы, могли существовать и не распадались, требуется достаточно большая константа α_s , при которой сила ядерного взаимодействия превышает силу электрического отталкивания протонов (граница белой области на рис. 6 снизу). Максимально допустимая величина α_s (граница белой области на рис. 6 сверху) определяется следующим условием: «чтобы энергия связи на частицу была достаточно мала, так чтобы составляющие ядра частицы оставались нерелятивистскими»³⁷.

35 Adams F. C. The Degree of Fine-tuning in Our Universe — and Others.

36 Ibid. P. 26–31.

37 Ibid. P. 30.

В дополнение к этим ограничениям, в пригодной для жизни вселенной энергия ядерных реакций (зависит от величины α_s) должна быть намного выше энергетической шкалы химических реакций, обусловленных электрическим взаимодействием электронов и ядер (зависит от величины α). Если бы было наоборот, то химические реакции, лежащие в основе жизнедеятельности, провоцировали бы ядерные реакции и тем самым бы изменяли элементарный состав живых организмов³⁸.

Рисунок 6 не даёт адекватного представления о том, насколько мала область пригодных для жизни параметров α и α_s по сравнению с пространством всех возможных значений. По нашим расчётам, в линейном масштабе белый участок составит всего лишь порядка 10^{-16} от области возможных величин, принятых в статье Адамса (чёрная часть графика). Кроме того, диапазон варьирования параметров от 10^{-10} до 10^{10} выбран произвольно и не отражает всех значений, допускаемых теорией. Если расширить диапазон от 10^{-20} до 10^{20} (серая часть графика), то есть до 40 порядков (именно во столько раз в нашей Вселенной различаются константы двух фундаментальных сил — гравитации и сильной ядерной силы), то в линейном масштабе область подходящих для жизни α и α_s составит, по нашим расчётам, порядка 10^{-36} от площади всего графика³⁹.

Мы рассмотрели лишь несколько примеров тонкой настройки физических констант Вселенной на благоприятные для жизни величины⁴⁰. По оценкам учёных, область значений этих параметров, допускающих сложную организацию материи, свойственную жизни, составляет очень малую часть от всех теоретически возможных:

38 Ibid. См. также: *Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos*. P. 71–74.

39 График в логарифмической шкале, принятой на рис. 6, также приводит к выводу о тонкой настройке α и α_s , хотя и не столь очевидным образом. Теория не запрещает нулевые значения фундаментальных сил в гипотетических вселенных, поэтому ноль входит в пространство возможных параметров [*Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos*. P. 91–92]. В логарифмическом масштабе, если значение параметра стремится к нулю, то логарифм этой величины стремится к отрицательной бесконечности. На таком графике пространство параметров снизу и слева от белой области на рис. 6 будет стремиться к бесконечности. Соответственно, область пригодных значений α и α_s будет составлять бесконечно малую часть от пространства возможных значений, что означает бесконечно точную настройку.

40 О настройке многих других параметров см. в работах [*Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos*. *Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life*. *Adams F. C. The Degree of Fine-tuning in Our Universe — and Others*. *Puc M. D. Всего шесть чисел*].

- $\approx 10^{-42}$ (отношение области значений масс up- и down-кварков, при которых могут существовать разнообразные химические элементы, протекать химические реакции и формироваться звёзды, к пространству возможных значений, допускаемых теорией)⁴¹;
- $< 10^{-35}$ (отношение области параметров G и α , допускающих существование стабильных звёзд, рис. 5, к пространству возможных значений G и α при условии, что сила гравитации может быть такой же большой, как сила сильного ядерного взаимодействия, и α принимает значения, указанные на рис. 5)⁴².

Выше уже упоминалось, что, по современным представлениям, эти параметры приняли значения случайным образом вскоре после Большого взрыва. При этом они оказались в очень узких интервалах величин, подходящих для существования звёзд, разнообразных химических элементов, химии и жизни, хотя ничто в теории не мешает им быть другими. Чрезвычайно малая вероятность случайного «попадания» параметров в благоприятные для жизни области сравнима с чудом⁴³ и вызывает к объяснению.

Гипотеза мультивселенной

В качестве попытки дать научную интерпретацию феномену тонкой настройки учёные прибегают к гипотезе существования мультивселенной, состоящей из большого или бесконечного ансамбля вселенных⁴⁴. Предполагают, что в каждой из них значения физических констант установились

- 41 Barr S. M., Khan A. Anthropic Tuning of the Weak Scale and of M_u/M_d in Two-Higgs-doublet Models. Barnes L. A. Testing the Multiverse.
- 42 Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. P. 111. Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life. P. 547.
- 43 Например, в книге [Hawking S. W., Mlodinow L. The Grand Design: New Answers to the Ultimate Questions of Life. New York, 2010] глава 7-я, посвящённая феномену тонкой настройки Вселенной, называется «The Apparent Miracle», или в русском переводе книги — «Кажущееся чудо (здесь и далее курсив наш. — В. И.)» [Хокинг С., Млодинов Л. Высший замысел. СПб., 2013]. Чтобы перевести «the miracle of fine-tuning», или «чудо тонкой настройки», в научную плоскость, исключая чудеса, Хокинг и Млодинов обращаются к гипотезе существования мультивселенной. В отзыве на книгу, опубликованном в журнале «Nature», также упоминается сравнение тонкой настройки физических констант с «чудом» [Turner, M. No Miracle in the Multiverse // «Nature». 2010. Vol. 467. P. 657–658].
- 44 Виленкин А. В. Мир множества миров. Carr B., Ellis G. Universe or Multiverse? // Astronomy & Geophysics. 2008. Vol. 49. P. 2.29–2.33.

случайным образом и большинство вселенных непригодны для возникновения жизни. Однако в бесконечном множестве неизбежно есть «удачные» вселенные — такие, как наша, — в которых константы случайно оказались в подходящих для жизни интервалах. Только в таких вселенных могут появиться разумные наблюдатели. Причём все они обнаружат, что в их вселенной физические параметры настроены на благоприятные для жизни значения, поскольку во вселенных с неблагоприятными параметрами нет наблюдателей (так называемый отбор наблюдателя, антропный отбор или антропный принцип)⁴⁵. По мнению учёных, идея мультивселенной представляет собой единственное физическое объяснение точной регулировки параметров, которая приводит к нашему существованию⁴⁶.

Выводы

Обращаясь к гипотезе мультивселенной, учёные признают недостаточность нашей Вселенной для тонкой настройки значений физических констант, допускающих существование жизни (рис. 1Б). Эти выводы учёных, изложенные в многочисленных научных публикациях⁴⁷,

45 Там же.

46 «...Многие физики считают, что мультивселенная даёт наиболее естественное объяснение антропным тонким настройкам» [Carr B., Ellis G. Universe or Multiverse?]. «Мультивселенная, по-видимому, является единственным научным объяснением одновременной точной регулировки всех этих параметров, так что в итоге возникла сложность и жизнь» [Ellis G. Multiverses: Description, Uniqueness and Testing // Universe or Multiverse? / ed. B. Carr. Cambridge, 2007. P. 388]. «...Аномально малое значение космологической постоянной, крайняя малость массы электрона, почти одинаковые массы протона и нейтрона, а также тот факт, что мы живём в четырёхмерном пространстве, являются экспериментальными данными, и единственное доступное в настоящее время правдоподобное объяснение этих и многих других удивительных экспериментальных результатов было найдено в рамках общей теории мультивселенной» [Linde A. A Brief History of the Multiverse // Reports on Progress in Physics. 2017. Vol. 80. P. 022001].

47 Lewis G. F., Barnes L. A. A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. Barnes L. A. The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life. Окунь Л. Б. Фундаментальные константы физики. Виленкин А. В. Мир множества миров. Carr B., Ellis G. Universe or Multiverse? Davies P. C. W. Multiverse Cosmological Models // Modern Physics Letters A. 2004. Vol. 19. P. 727–744. Donoghue J. F. The Multiverse and Particle Physics // Annual Reviews of Nuclear and Particle Science. 2016. Vol. 66. P. 1–21. Пис М. Наша космическая обитель. Москва–Ижевск, 2002. Tegmark M. Parallel Universes // Scientific American. 2003. Vol. 288. P. 41–51. Сахаров А. Д. Космологические переходы с изменением сигнатуры метрики // Успехи физических наук. 1991. Т. 161. Вып. 5. С. 94–104. Linde A. A Brief History of the Multiverse. Хокинг С., Млодинов Л. Высший замысел.

подтверждают предсказание двухвекторной модели о недостаточности наблюдаемой Вселенной для возникновения живой природы и таким образом подтверждают модель.

Источники

- Василий Великий, свят.* Беседы на Шестоднев. [Электронный ресурс]. URL: https://azbyka.ru/otechnik/Vasilij_Velikij/besedy_na_shestodnev.html (дата обращения: 18.08.2024).
- Ефрем Сирин, преп.* Толкования на Священное Писание. Книга Бытия. [Электронный ресурс]. URL: https://azbyka.ru/otechnik/Efrem_Sirin/tolkovanie-na-knigu-bytija.html (дата обращения: 18.08.2024).

Литература

- Виленкин А. В.* Мир множества миров. Физики в поисках иных вселенных. М.: АСТ, 2018.
- Иваненков В. В.* Шестоднев, грехопадение и время. [Электронный ресурс]. URL: <https://bogoslav.ru/article/6192985> (дата обращения: 19.08.2024).
- Окунь Л. Б.* Фундаментальные константы физики // Успехи физических наук. 1991. Т. 161. С. 177–194.
- Рис М. Д.* Всего шесть чисел. Главные силы, формирующие Вселенную. М.: Альпина нон-фикшн, 2018.
- Рис М.* Наша космическая обитель. Москва–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002.
- Сахаров А. Д.* Космологические переходы с изменением сигнатуры метрики // Успехи физических наук. 1991. Т. 161. Вып. 5. С. 94–104.
- Спиркин А. Г.* Философия: Учебник. М.: Гардарики, 2006.
- Фритцци Х.* Фундаментальные физические постоянные // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. С. 383–392.
- Хокинг С., Млодинов Л.* Высший замысел. СПб.: Амфора, 2013.
- Adams F. C.* Stars in Other Universes: Stellar Structure with Different Fundamental Constants // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2008. Vol. 8. P. 10–38.
- Adams F. C.* The Degree of Fine-tuning in Our Universe — and Others // Physics Reports. 2019. Vol. 807. P. 1–111.
- Barnes L. A.* The Fine-tuning of the Universe for Intelligent Life // Publications of the Astronomical Society of Australia. 2012. Vol. 29. P. 529–564.
- Barnes L. A.* Testing the Multiverse: Bayes, Fine-tuning and Typicality // The Philosophy of Cosmology / ed. K. Chamcham, J. Silk, J. D. Barrow, S. Saunders. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. P. 447–466.
- Barr S. M., Khan A.* Anthropic Tuning of the Weak Scale and of Mu/Md in Two-Higgs-doublet Models // Physical Review D. 2007. Vol. 76. P. 045002.

- Carr B., Ellis G.* Universe or Multiverse? // *Astronomy & Geophysics*. 2008. Vol. 49. P. 2.29–2.33.
- Chang S.* The Neutron and Proton Weigh in, Theoretically // *Physics Today*. 2015. Vol. 68 (6). C. 17–18.
- Davies P. C. W.* Multiverse Cosmological Models // *Modern Physics Letters A*. 2004. Vol. 19. P. 727–744.
- Donoghue J. F.* The Multiverse and Particle Physics // *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*. 2016. Vol. 66. P. 1–21.
- Ellis G.* Multiverses: Description, Uniqueness and Testing // *Universe or Multiverse?* / ed. B. J. Carr. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. P. 387–409.
- Hawking S. W., Mlodinow L.* The Grand Design: New Answers to the Ultimate Questions of Life. New York: Bantam, 2010.
- Hogan C. J.* Quarks, Electrons, and Atoms in Closely Related Universes // *Universe or Multiverse?* / ed. B. J. Carr. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. P. 221.
- Lewis G. F., Barnes L. A.* A Fortunate Universe: Life in a Finely-tuned Cosmos. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.
- Linde A.* A Brief History of the Multiverse // *Reports on Progress in Physics*. 2017. Vol. 80. P. 022001.
- Ridpath I., Stott C., Sparrow G.* Astronomy — DK's Eyewitness Companions. DK, 2006.
- Tegmark M.* Parallel Universes // *Scientific American*. 2003. Vol. 288. P. 41–51.
- Turner, M.* No Miracle in the Multiverse // *Nature*. 2010. Vol. 467. P. 657–658.
- Workman R. L. et al. (Particle Data Group).* Review of Particle Physics // *Progress of Theoretical and Experimental Physics*. 2022. Vol. 2022. P. 083C01.