

Артем Тунцов

ЗВЕЗДЫ СВЕТАТ И В ДРУГИХ МИРАХ

Современные научные представления говорят, что мы можем жить в одной из множества одновременно существующих вселенных, совершенно отличающихся друг от друга физическими законами. И во многих из них могут и будут существовать звезды. А во многих мирах, где звезд быть не может, их роль могут взять на себя черные дыры.

Вопрос уникальности нашего мира занимает людей с древних времен. Для первобытных людей окном в «другую жизнь» могла стать встреча с соседним племенем, жители античного мира сочиняли сказки об островах, населенных амазонками и циклопами, а современники Галилея и Бруно задумывались: не живет ли кто на далеких планетах.

Как ни странно, всякий раз «другой мир» когда-нибудь оказывался в пределах досягаемости, а со временем люди даже начинали понимать, что и этот далекий мир когда-то в прошлом или в будущем мог или сможет напрямую повлиять на их повседневную жизнь или окончательную судьбу.

Современные «другие миры», как кажется сейчас, — совсем другая история. Появилась наука космология, и теоретики с легкостью жонглируют на своих листах бумаги и в памяти компьютеров целыми вселенными, которые могут быть совсем непохожими на нашу. Сейчас, когда ученые, как они полагают, установили основные физические законы, естественным образом встал вопрос — почему они являются такими, какими они являются, и не могут ли где-то «в других вселенных» действовать законы природы, совсем непохожие на те, что известны нам. На что будут похожи эти другие вселенные? Чем они будут отличаться от нашей?

Первые потуги ответить на такие вопросы чем-то напоминают попытки наших предков представить себе жителей далеких земель. Эти существа были очень похожими на тех, что нас окружают, только, говоря современным языком, конкретные их параметры варьировались. Характерные примеры — одноглазый циклоп, стоглазый Аргус, трехглавый пес Цербер и византийский двуглавый орел. Появление в сказках чудо-юдо-рыбы-кит, проглатывающей целые корабли, или огромных пауков, стерегущих сокровища, — из того же ряда, только здесь вариации подвергся не дискретный параметр (число частей тела), а непрерывный (размер).

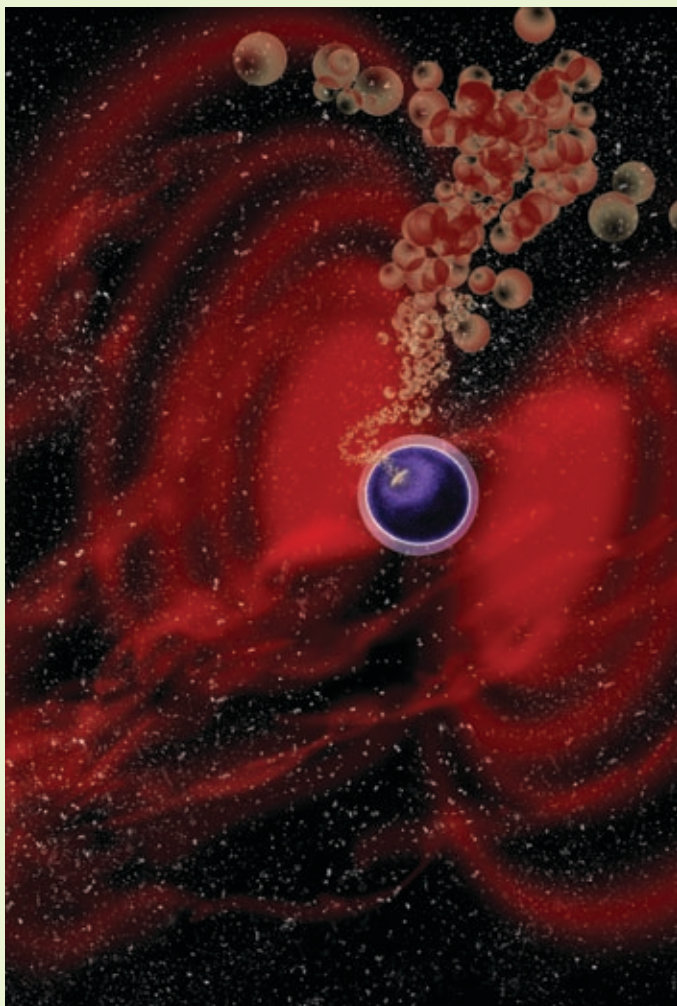
Примерно таким же образом поступали и ученые на протяжении всего XX века. Многие великие умы потратили немало времени, пытаясь представить себе, как, к примеру, будет вы-



глядеть Вселенная, в которой гравитационная постоянная была бы чуть-чуть больше, а постоянная тонкой структуры — наоборот, чуть меньше. Трудно устоять перед соблазном поиграть с физической величиной, значение которой известно, а почему оно такое — остается загадкой. В этих играх выяснилась интереснейшая вещь — оказывается, наша Вселенная очень чувствительна к изменениям своих параметров.

Измени ты постоянную тонкой структуры вдвое — и большинство звезд уже не смогут существовать, сделай массу электрона втрое больше — и во Вселенной не останется никаких атомов, кроме водорода, так что ни твердые планеты, ни тем более какие-то там ДНК уже существовать не смогут. Сделай размерность пространства не тройкой, а, скажем, пятеркой — и в мире не останется замкнутых орбит, и планеты со звездами будут носиться друг мимо друга по самым замысловатым траекториям.

Некоторым такая тонкая настройка говорит о вмешательстве высшего разума в подготовку почвы для заселения созданного им мира человеками. Однако находятся и более наукообразные объяснения, одно из которых выражает так называемый антропный принцип, который можно грубо выразить как «нечего удивляться, что вы живете в таком мире, потому как в другом мире удивляться было бы некому». Если добавить к этим рас-



суждениям возможность существования миров со всевозможными значениями параметров, то у такой теории появляется даже своеобразная содержательная часть. Можно вычислить, например, какая доля возможных миров обладает свойствами, допускающими существование познающего такой мир разума.

Конечно, последний предполагается похожим на единственный разум, известный пока науке, — человеческий.

Это ограничение — повод для бесконечного множества сомнений и даже насмешек над людьми, которые пытаются серьезно заниматься исследованиями с применением антропного принципа. Есть, конечно, требования к свойствам мира, с которыми более или менее согласны большинство ученых, — например, что для возникновения познающего субъекта Вселенная должна просуществовать дольше нескольких секунд, не схлопнувшись обратно в небытие под действием силы тяжести — например, при слишком большой гравитационной постоянной. Но и здесь возможны сомнения.

Кто, в конце концов, может гарантировать, что в первые мгновения после Большого взрыва, когда все сущее представляло собой кварк-глюонную плазму с очень сильным взаимодействием между отдельными частицами, в ней не могло сформироваться чего-то подобного человеческому мозгу со всеми его нейронами и соединяющими их аксонами? В такой сети сигналы проносились очень быстро, и кто знает — может, этот кварк-глюонный познающий субъект в долю мгновения познал все бытие и даже потерял к нему интерес, посвятив оставшееся время своего существования размышлениям о холодном пиве.

Задача, которую поставил себе Фред Адамс из американского Университета Мичигана, — куда скромнее, но зато и устой-

чивее к подобной критике. Вместо размышлений о возможности существования разумной жизни он задался более простым вопросом — в какой-то степени даже эстетического свойства.

Под небом каких вселенных можно увидеть свет звезд? Какая часть возможных физических констант допускает появление этих самых заметных в нашей Вселенной образований?

При этом Адамс не стал играть с размерностью нашего мира или предполагать категорически другой состав элементарных частиц, его населяющих.

Как выяснилось, таким образом решить этот вопрос куда проще. Адамсу удалось свести задачу существования звезд, которые он определил как гидростатически устойчивые, долгоживущие образования, способные производить энергию посредством ядерных реакций, всего к трем параметрам. Ими оказались гравитационная постоянная G , определяющая силу гравитации, постоянная тонкой структуры α , ответственная за силу электромагнитного взаимодействия, и, как назвал его автор, «композитный параметр» C , описывающий силу ядерных реакций и некоторые другие свойства мира.

Этих параметров оказалось достаточно, чтобы вычислить минимальную и максимальную массу звезд в такой Вселенной. Максимальную массу определяет то обстоятельство, что слишком массивные звезды светят так ярко, что давление этого света перебарывает давление внешних слоев звезды, и они разлетаются в окружающее пространство. Минимальная же масса звезды, которую в знакомой человечеству Вселенной называют «пределом Кумара», связана с тем, что сжатие маломассивных звезд останавливается за счет так называемого давления вырожденного газа прежде, чем температура в ее центре станет достаточной для начала ядерных реакций.

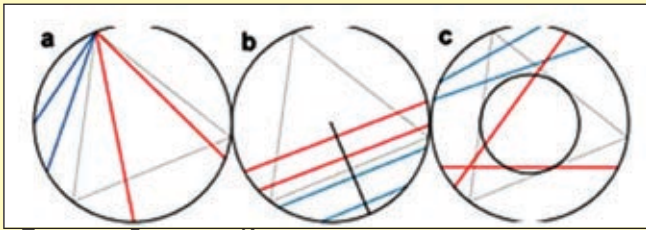
МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ВСЕЛЕННЫХ

Существует немало способов представить себе существование множественных миров. Классический пример — это модель «сарделечной» вселенной — разделенный на многочисленные отсеки эластичный «пузырь», отдельные «сардельки» которого соединены друг с другом через тонкие горлышки. Если рассматривать в качестве вселенной только саму поверхность пузыря, то внутри каждого пузыря размер входа в другую вселенную будет крохотным; при этом ни один из них не уступает другому. Подобным образом могут обстоять и с трехмерным миром — он также может быть так называемой гиперповерхностью в пространстве большего числа измерений.

Впрочем, даже дополнительные измерения не нужны для сосуществования миров с разными физическими законами. Например, в модели вечной хаотической инфляции вакуум в каждом отдельном регионе нашего мира может перейти в другое состояние с иным набором законов. При переходе вполне вероятно стремительное расширение соответствующего региона, при котором все внешние области очень быстро оказываются вне досягаемости для частиц и взаимодействий, появляющихся в новой вселенной. Рано или поздно в каком-то регионе и этой, новой вселенной, возможен новый переход такого рода.

Одна из самых популярных фундаментальных физических теорий — теория суперструн — предсказывает существование огромного множества возможных устойчивых конфигураций вакуума и, как следствие, наборов физических законов и констант. Размер этого множества, которое называют «струнным ландшафтом», оценивается в 10^{500} , что невообразимо больше числа всех частиц во всей наблюдаемой Вселенной (порядка 10^{80}).

Самая упоминая возможность — это возможность сосуществования всех констант и законов одновременно без разделения в пространстве и времени. Ее допускает принцип суперпозиции квантовой механики (при этом в данный момент и в данной точке, конечно, возможно смешение лишь тех волновых функций тех состояний вакуума, что допускают существование этой точки и этого момента времени). Впрочем, есть еще более упоминая возможность, которую большая часть физиков считают ересью — что человек, будучи измерительным прибором природы, влияет на то, какое из состояний вакуума будет в конечном итоге актуализировано.



Парадокс Бертрана. Красные хорды длиннее стороны вписанного равностороннего треугольника, синие — короче

ПАРАДОКС БЕРТРАНА заключается в том, что ответ на вопрос о вероятности казался бы одного и того же события зависит от того, какую величину мы считаем распределенной равномерно.

Задача формулируется следующим образом. Для некоторой окружности случайным образом выбирается хорда. Необходимо найти вероятность того, что эта хорда длиннее стороны правильного треугольника, вписанного в окружность.

Бертран предложил три метода решения, каждый из которых дает разный ответ.

Можно, исходя из соображений симметрии, принять, что одним концом хорды является фиксированная точка на окружности, и построить вписанный равносторонний треугольник с одной из вершин в данной точке. Длиннее его стороны лишь те хорды, что находятся внутри его угла (рисунок а). Предполагая, что угол, под которым хорда пересекает окружность, равномерно распределен, мы получим, что вероятность равна $1/3$.

Другой вариант (рисунок б) — выбрать произвольный радиус. По соображениям симметрии, радиусы, перпендикулярные любой хорде, все равноправны, так что можно ограничиться одним и рассматривать лишь перпендикулярные ему хорды. Если точка пересечения хорды с радиусом лежит во внутренней половине последнего, то хорда меньше стороны вписанного равностороннего треугольника, если во внешней — то больше. Предполагая, что положение этой точки распределено равномерно, получаем, что вероятность равна $1/2$.

Наконец (рисунок с), можно заметить, что каждая точка единственным образом определяет хорду, серединой которой она является. Такая хорда будет больше стороны вписанного равностороннего треугольника, если лежит в круге радиусом в половину исходного, и меньше — если лежит в кольце между двумя окружностями. Предполагая, что распределение точки в круге равномерно, получаем, что вероятность равна отношению площадей меньшего и большего круга — то есть, $1/4$.

Оставалось лишь проверить, при каких значениях параметров минимальный предел не превосходит максимальный, и звезды хоть какой-то массы могут существовать.

Как оказалось, этим условиям удовлетворяет примерно четверть всех троек (G, α, C).

Более того, в тех вселенных, которым со звездами не повезло, но которые более или менее похожи на нашу, роль источников энергии могут взять на себя другие объекты. Например, черные дыры, на которые будет, нагреваясь и ярко светясь, падать окружающее вещество, или еще более экзотические образования вроде скоплений темной материи, которая будет медленно, но верно аннигилировать в их центрах.

В общем, если воспринимать результат Адамса буквально, то из него можно сделать вывод, что звезды светят в каждой четвертой вселенной (хоть чем-то похожей на нашу). Так что ни о какой тонкой настройке речи не идет.

Впрочем, вывод этот, конечно, спорный. И дело не только в том, что сведение всего разнообразия возможных физических законов к трем параметрам — сродни заселению средиземноморских островов существами с n глазами, m ушами и k хвостами; в конце концов, G, α и C описывают хоть какую-то физику. Однако сложно понять, например, почему необходимо принимать, что все тройки (G, α, C) встречаются среди множества различных вселенных с одинаковой частотой. Если заменить их на физически абсолютно тождественные тройки (G_2, α_3, C_5), то для них частоты будут уже другими.

Этот вопрос, который более формально называется определением меры вероятности на пространстве параметров, —



совсем не тривиален, и способов введения меры вероятности в литературе по антропному принципу, например, больше, чем авторов, работающих в этом направлении. А при выборе различных ответов на вопрос об определении меры 25% вселенных, которые нашел Адамс, могут превратиться и в 1%, и в 99% (парадокс Бертрана — очень характерный пример в данном случае).

Тем не менее, смысл в таких упражнениях все же есть. Если физические константы медленно меняются со временем, то результаты мичиганского физика показывают, что у нашей Вселенной есть немалый запас прочности к такого рода переменам. В пространстве возможных троек (G, α, C) мы сейчас находимся далеко от границы, за которой звезд не станет. Так что пока есть время насладиться их видом в ясную августовскую ночь.



Предел Кумара — минимальная масса звезды, в недрах которой может зажечься реакция превращения основного изотопа водорода — протия — в гелий. Как правило, стационарные «звезды», масса которых меньше предела Кумара, называют бурыми, или коричневыми, карликами. Предел зависит от химического состава небесного тела и для типичного звездного вещества составляет около 0,07 масс Солнца.

Если масса звезды меньше предела Кумара, то достаточное для гидростатического равновесия давление в центре объекта может быть обеспечено без увеличения температуры недр, и ядерные реакции не начинаются. Давление в этом случае обеспечивается давлением вырожденного электронного газа: благодаря квантовому принципу исключения Паули: два электрона не могут занимать одну и ту же ячейку фазового пространства, что заставляет их увеличивать скорости и, как следствие, давление без изменения температуры.

В ядерных реакциях в бурых карликах могли бы участвовать другие изотопы водорода — дейтерий и тритий, а также элемент литий. Тем не менее, их количество в межзвездном газе, из которого образуются звезды, очень невелико, и сгорают они еще при образовании объекта.