

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ИСТОРИЯ



КАК ОБРАЗОВАЛИСЬ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

Одна из самых известных фраз Карла Сагана гласит, что все мы сделаны из звездной пыли. На самом деле это не художественное преувеличение — все элементы тяжелее лития во Вселенной образовались в результате различных процессов, так или иначе связанных с эволюцией звезд и их производных.

ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО ТЕМНЫХ ВЕКОВ

... Вначале была кварк-глюонная плазма. Она быстро остывала по мере расширения Вселенной и состояла из субатомных частиц (как понятно из названия — глюонов и кварков). В какой-то момент эти частицы полу-

чили возможность объединяться в более стабильные тяжелые элементарные частицы — адроны. Они представляли собой как материю, так и антиматерию, и на определенном этапе почти полностью проаннигилировали между собой. «Почти» — потому что материи случайно ока-

залось примерно на одну миллионную долю процента больше. В этой крохотной доле мы сейчас и живем. Могло бы произойти наоборот, и тогда бы мы называли «материей» то, что сейчас считаем антиматерией.

Через секунду после Большого взрыва почти все адроны распались, остались только самые стабильные: протоны (ядра атомов основного изотопа будущего водорода), нейтроны и более легкие электроны. Результатом этого процесса стало также появление так называемых реликтовых нейтрино. Их могучие потоки постоянно пронизывают нас, совершенно не взаимодействуя

Авторы — Владимир Манько, Сергей Гордиенко

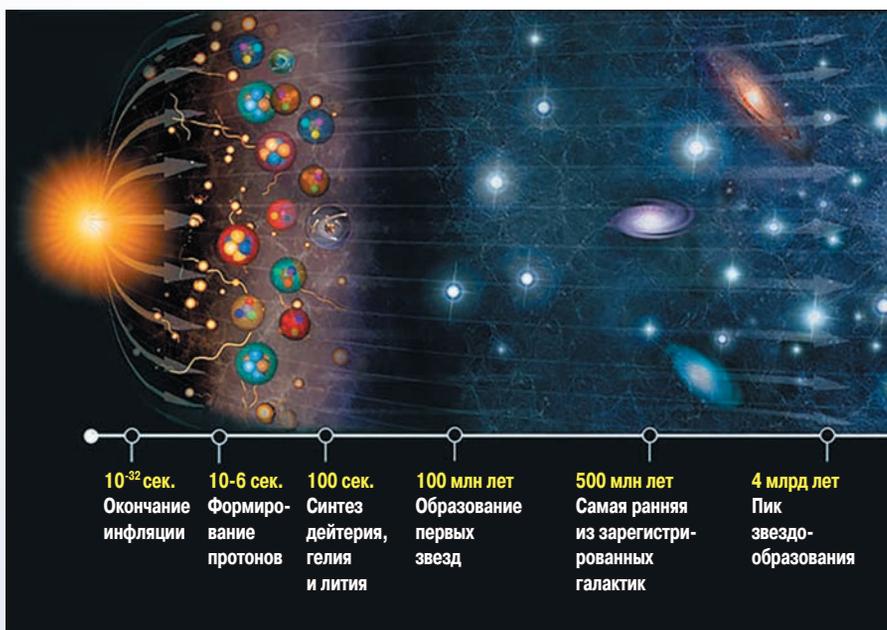
Формирование первых звезд примерно через 100 млн лет после Большого взрыва протекало в условиях, сильно отличающихся от нынешних. Средняя плотность вещества во Вселенной тогда была существенно выше, и состояло оно почти исключительно из водорода и гелия. Их огромные облака сжимались под действием собственной гравитации, постепенно разогреваясь, пока температура и давление в их центрах не возросли настолько, что там начались термоядерные реакции с выделением энергии. *Adolf Schaller for STScI*

с «привычной» материей. Они имеют настолько низкую энергию, что современная техника не позволяет их зарегистрировать, а возможно, нам этого вообще никогда не удастся. А жаль — эти частицы несут важную информацию о первых мгновениях нашего мира.

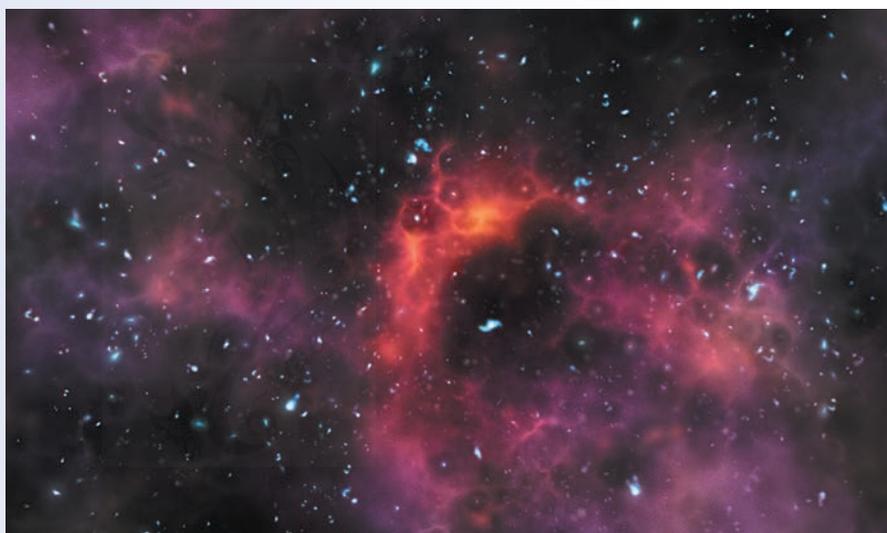
Около двух минут протоны и нейтроны существовали независимо, а потом температура Вселенной упала настолько, что энергия частиц стала меньше энергии ядерного взаимодействия, и они начали объединяться в атомные ядра. В основном это были ядра гелия — α -частицы, состоящие из двух протонов и двух нейтронов. В качестве незначительных примесей образовались дейтроны (протон+нейтрон), а также ядра изотопа лития с массовым числом 7 и короткоживущего бериллия-8.

Через 20 минут после Большого взрыва температура упала настолько, что ядерный синтез стал невозможным. В него успели вступить почти все нейтроны (не успевшие позже распасться) и всего четверть протонов — остальные три четверти остались «свободными». Средняя плотность Вселенной к тому времени снизилась до 4 г на кубометр, что примерно в 300 раз меньше плотности земного воздуха на уровне моря.

Следующие 18 тыс. лет Вселенную заполняла непрозрачная для излучения плазма. Наконец ее температура снизилась настолько, что стала возможной рекомбинация — объединение электронов с атомными ядрами с формированием нейтральных атомов. Из протонов образовался водород, до сих пор составляющий около 75 % барионной материи, из дейтронов — дейтерий (тяжелый стабильный изотоп водорода), из ядер гелия-3 и α -частиц — гелий. Какое-то время значительная доля этого элемента оставалась в частично ионизированной форме (He^+), и когда нашему миру было около 100 тыс. лет, этот ион начал взаимодействовать с атомарным водородом. Так появ



Нуклеосинтез в первые минуты после Большого взрыва и ранние стадии эволюции Вселенной. *Scientific American/Malcolm Godwin*



Так могли выглядеть первые галактики менее чем через миллиард лет после Большого взрыва, когда Вселенная все еще была заполнена большим количеством «свободного» водорода, светящегося под действием ультрафиолетового излучения. Это свечение астрономы сейчас пытаются зарегистрировать с помощью Очень большого телескопа Европейской Южной обсерватории (VLT ESO). *ESO/M. Kornmesser*

вилась первая молекула, — точнее, молекулярный ион HeH^+ .

«На отметке» 370 тыс. лет рекомбинация в основном завершилась (уточнить время ее окончания должны помочь новые космические телескопы), Вселенная стала прозрачной, и ее заполнило реликтовое излучение. Молекулы HeH^+ , сталкиваясь с атомами водорода, начали образовывать гелий и молекулярный водород, необходимый для дальнейшего формирования первых звезд. Но зажгутся они только спустя 250 млн лет. Все это время, начиная от момента, когда длина волны реликтового излучения за счет расшире-

ния пространства выросла настолько, что оно перешло в инфракрасный диапазон, в астрономии носит название «темных веков».

В НЕДРАХ ПЕРВЫХ ЗВЕЗД

И вот в результате гравитационного сжатия газовых облаков одно за другим начали зажигаться первые светила. В подавляющем большинстве они не были похожи на нынешние звезды и представляли собой сверхмассивные гиганты с массами в сотни и даже тысячи солнечных. В их недрах интенсивно шли термоядерные реак-

ции синтеза гелия из водорода и медленнее — более тяжелых элементов на основе гелия. Долгое время астрофизики не могли понять, каким образом это происходит. Дело в том, что изотоп бериллия с массовым числом 8, образующийся при слиянии двух α -частиц, весьма нестабилен: его ядра распадаются почти сразу после возникновения и не могут служить «базой» для дальнейшего синтеза. Решение этой проблемы предложил Фред Хойл (Fred Hoyle), допустивший, что при достаточной плотности вещества могут происходить столкновения сразу трех α -частиц, приводящие к образованию ядер углерода-12. Вскоре после того, как он озвучил эту догадку на семинаре в Калифорнийском технологическом институте, был проведен эксперимент, подтвердивший эту гипотезу.

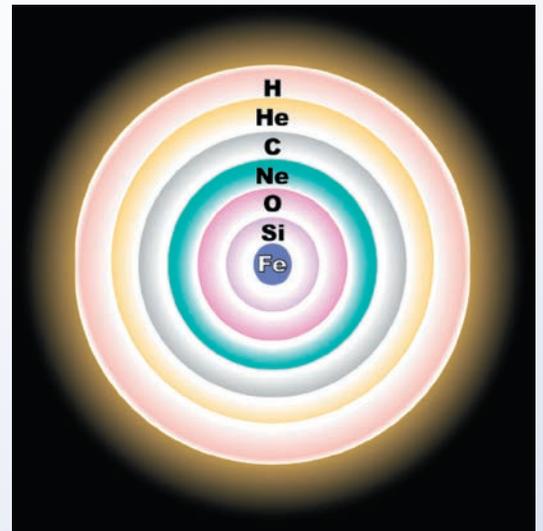
Рождение более тяжелых элементов можно упрощенно описать следующим образом: при попадании в ядро некоего химического элемента нейтрона или протона через цепочку ядерных реакций образуется элемент, занимающий в периодической таблице следующую клеточку (фтор из кислорода или сера из фосфора), при попадании α -частицы (ядро атома гелия) — элемент с атомным номером, на 2 большим (кислород из углерода и т. п.).

К концу жизненного цикла массивной звезды материал в ней располагается слоями, напоминающими луковицу: в самом внешнем слое водород «перерабатывается» в гелий, в более глубоком происходит превращение гелия в углерод и кислород...

и так далее вплоть до железа. У этого элемента удельная энергия связи, приходящаяся на единицу массы ядра, максимальна. Дальнейшие реакции термоядерного синтеза на его основе уже не будут сопровождаться выделением энергии, а наоборот — требуют ее притока извне. Откуда же взялись более тяжелые ядра (медь, цинк, серебро, золото, свинец и множество других)?

Пока в звездных недрах идут термоядерные реакции, выделяющие энергию, они разогревают окружающее вещество до сверхвысоких температур и противостоят его сжатию силами гравитации. Со временем «сырье» для реакций синтеза исчерпывается, выделение тепла уменьшается, и начинается гравитационный коллапс (при этом далеко не все вещество звезды успевает превратиться в железо). Плотность материи становится настолько высокой, что электроны уже не могут существовать на орбитах вокруг атомных ядер — они падают на них и реагируют с протонами с образованием нейтронов. При этом в течение короткого времени выделяется огромное количество энергии и множество высокоэнергетических нейтрино, которые уже можно зарегистрировать существующими средствами. Это событие мы наблюдаем как вспышку сверхновой.

Гравитационный коллапс обеспечивает достаточно энергии для синтеза даже таких атомных ядер, удель-



Внутреннее строение сверхмассивной звезды незадолго до того, как начнется ее гравитационный коллапс. Каждый химический элемент сконцентрирован в «своем» слое, железо находится в центре. R. J. Hall

ная энергия связей в которых меньше сил электростатического отталкивания между протонами, поэтому они не имеют стабильных изотопов — все они рано или поздно распадаются¹. Самым легким из этих элемен-

¹ Два сравнительно легких элемента, не имеющие стабильных ядер (технеций и прометий), оказались «жертвами» так называемого запрета Маттауха. Согласно ему, если какой-то химический элемент имеет стабильный изотоп с определенным массовым числом, у всех других элементов изотопы с такой же массой обязаны быть радиоактивными. В области атомных масс около 100 все стабильные ядра оказались «распределены» между молибденом и рутением, в области 140–150 — между неодимом и самарием. Следы прометия и особенно технеция иногда находят в спектрах молодых звезд.

H 1	Большой взрыв																Расщепление космическими лучами										He 2																			
Li 3	Be 4	Звезды малой массы																Взрывы массивных звезд										B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10													
Na 11	Mg 12	Взрывы белых карликов																Килоновые										Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18													
Ядерный распад																		Не встречаются в природных условиях										K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36	
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	Cs 55	Ba 56	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86												
Fr 87	Ra 88	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Nh 113	Fl 114	Mc 115	Lv 116	Ts 117	Og 118	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

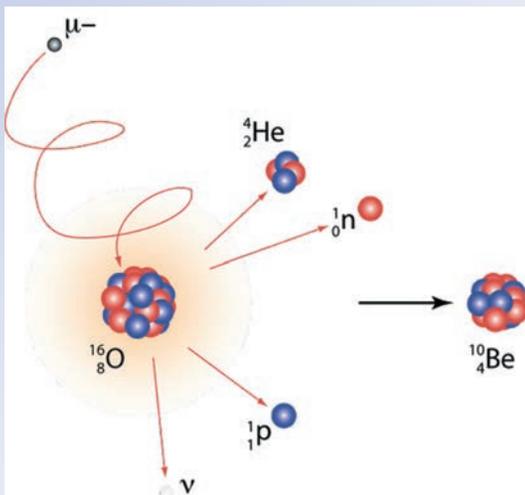
Периодическая таблица элементов по версии астронома Дженнифер Джонсон (Jennifer Johnson) показывает, откуда во Вселенной взялось то или иное атомное ядро. Если элемент образуется различными путями, соответствующая клеточка окрашена в два или три разных цвета. visualcapitalist.com



Основные этапы активного цикла звезды с массой меньше двух солнечных. На поздних стадиях эволюции, исчерпав водородное термоядерное горючее, она превращается в красного гиганта, который далее сбрасывает внешнюю оболочку, наблюдаемую как планетарная туманность, а его раскаленное ядро остается в виде белого карлика. Если он входил в состав двойной системы, на него начинает падать вещество его компаньона (также главным образом водород), и после накопления определенной массы происходит масштабный термоядерный взрыв — сверхновая типа Ia. Сброшенная оболочка, содержащая тяжелые химические элементы, постепенно рассеивается в пространстве. *visualcapitalist.com*



Звезды с массой свыше двух солнечных «сгорают» значительно быстрее и синтезируют более тяжелые элементы. Их ядро в результате гравитационного коллапса превращается в нейтронную звезду (пульсар) или черную дыру, попутно выделяя огромное количество энергии в ходе вспышки сверхновой. *visualcapitalist.com*



Отрицательные мюоны, содержащиеся в космических лучах, сталкиваясь с ядрами кислорода, вызывают рождение космогенного изотопа ^{10}Be , подвергающегося β -распаду с образованием атомов бора

тов является висмут (правда, период полураспада его самого долгоживущего изотопа ^{209}Bi превышает 10^{19} лет, поэтому его считают условно стабильным). Самым тяжелым теоретически должен быть калифорний — его изотоп с атомной массой 251 имеет

период полураспада порядка 900 лет. Это самый дорогой коммерчески доступный металл: его стоимость в пересчете на грамм превышает 10 млн долларов США. Получают его в ускорителях тяжелых ионов, облучая ими более стабильные «мишени».

Взрыв сверхновой приводит к сбросу внешней оболочки звезды со всеми уже успевшими синтезироваться элементами. Она быстро расширяется и рассеивается, обогащая этими элементами Вселенную. Новые поколения звезд и планет формируются уже с их участием. Некоторая часть тяжелых ядер, выброшенных при взрыве, приобретает огромную энергию и скорость. Так, согласно современным представлениям, появляются космические лучи, также играющие заметную роль в химическом разнообразии нашего мира: сталкиваясь с другими атомными ядрами, они вызывают их расщепление на более легкие «осколки». Таким путем образовалась значи-

тельная часть «вселенского» лития, а также весь бериллий и бор.

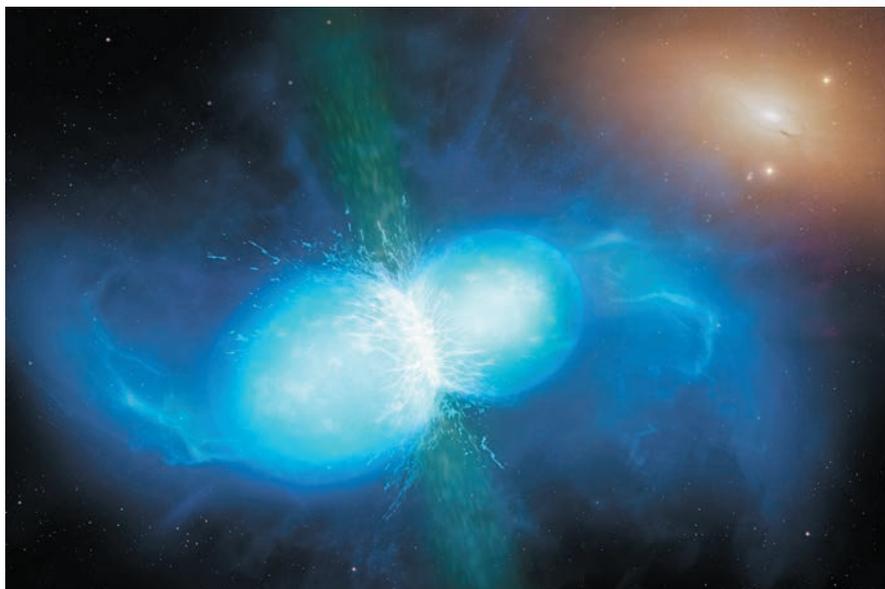
Наконец, еще одним источником тяжелых элементов на поздних этапах эволюции Вселенной становится самопроизвольное (спонтанное) деление радиоактивных ядер на примерно равные по массе фрагменты. Однако даже в наше время доля этого процесса относительно невелика.

«ДЕТИ» КИЛОНОВЫХ

Понятно, что, чем тяжелее звезда, тем выше температура и давление в ее недрах, и тем быстрее там идет термоядерный синтез. Проблема заключается в том, что ядра светил, превышающих по массе Солнце в 20–25 раз, при коллапсе образуют черные дыры, и все вещество, «провалившееся» в них, оказывается навсегда потерянным для окружающего мира.

А вот остатки взрывов более легких светил в своем сжатии останавливаются на стадии нейтронов. Они получили название нейтронных звезд. С точки зрения условий на поверхности Земли это совершенно невероятные объекты, имеющие размеры порядка 20 км и вращающиеся со скоростью до нескольких сотен оборотов в секунду. Их плотность сравнима с плотностью атомных ядер и составляет сотни миллионов тонн на кубический сантиметр. Гравитация их такова, что не позволяет покинуть их даже малейшей частице материи (но, в отличие от черных дыр, не задерживает излучения).

К счастью для нас и для химического разнообразия Вселенной, звезды часто входят в состав двойных или кратных систем. Представим себе такую систему, в которой каждый из двух компонентов уже прошел свой активный жизненный цикл и превратился в нейтронную звезду. Они будут вращаться вокруг общего центра масс по орбите все меньшего радиуса, постепенно теряя кинетическую энергию на возмущение пространства-времени в виде гравитационных волн (в полном соответствии с Теорией относительности)... и однажды неизбежно столкнутся. Результатом такого столкновения станет образование более тяжелой нейтронной звезды или черной дыры, а также излучение большого количества энергии и выброс в космос тех самых тяжелых элементов.



Так в представлении художника выглядит столкновение нейтронных звезд — редкое событие, в ходе которого образуется значительная часть тяжелых элементов нашей Вселенной.
University of Warwick/Mark Garlick



Возможный вид горячего расширяющегося пылевого облака, образовавшегося в результате столкновения нейтронных звезд. Такие облака «загрязняют» Вселенную тяжелыми химическими элементами. *NASA's Goddard Space Flight Center/CI Lab*

ЭПОХА МОЛЕКУЛ

Когда во Вселенной наконец-то возникло некоторое разнообразие химических элементов, их атомы уже могли объединяться между собой в молекулы. Они и начали это делать, как только газовые оболочки, сброшенные первыми сверхновыми, в достаточной степени остыли. Первыми молекулами стали соединения наиболее распространенных элементов — углерода и водорода (карбен, метан), водорода и кислорода (вода, гидроксильный радикал), углерода и кислорода (углекислый и угарный газы). Гелий как инертный газ в этих процессах уже не участвовал.

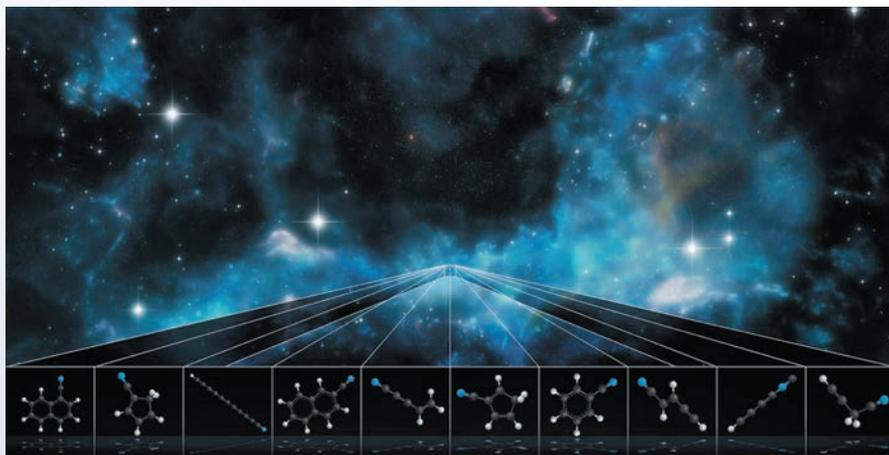
Некоторые из этих частиц сами по себе весьма активны и реагируют между собой с образованием достаточно сложных молекул: например, из гидроксила и карбена через несложную цепочку превращений получается метиловый спирт, из гидроксила и угарного газа — муравьиная кислота, из угарного газа и водорода — муравьиный альдегид (формальдегид)... Уже сами названия этих веществ говорят о том, что они близки к тому, чтобы стать основой живой материи. Но на ранних этапах эволюции химические реакции могли идти только в ограниченных областях пространства, где оболочки, сброшенные сверхновыми, уже достаточно остыли, чтобы не происходило разрушения образовавшихся химических связей, и одновременно оставались достаточно плотными, чтобы высокая концентрация позволяла отдельным частицам «встречаться» с большой вероятностью.

Ситуация существенно поменялась, когда Вселенная начала заполняться более тяжелыми элементами — кремнием, фосфором, серой, галогенами и металлами. Их соединения между собой, а также с кислородом и углеродом чаще всего представляют собой тугоплавкие кристаллы. Они возникают довольно легко даже при высоких температурах, а потом конденсируются в пылинки, существенно превосходящие по размерам молекулы. Более того: поверхность этих пылинок имеет свойство «собирать» молекулы летучих веществ, локально увеличивая их концентрацию и соответственно вероятность взаимодействия. А если в пылевой частице к тому же содержится радиоактивный изотоп (что в ранней Вселенной было обычным делом), она получает собственный «бесплатный» источник энергии.

Для подобных событий астрономы придумали название «килоновая». Сравнительно недавно его впервые удалось пронаблюдать непосредственно, и помогли нам в этом построенные незадолго до этого детекторы гравитационных волн. 16 октября 2017 г. американская лазерная интерферометрическая обсерватория LIGO и европейский детектор Virgo зарегистрировали возмущение пространства-времени, которое могло соответствовать только столкновению двух нейтронных звезд. Через пару секунд космический гамма-телескоп Fermi наблюдал короткую яркую вспышку гамма-лучей примерно в той же области неба, откуда пришли «подозрительные» гравитационные волны.

По совокупности полученных данных расстояние до их источника оценили в 140 млн световых лет.

Килоновые были предсказаны достаточно давно. Предполагалось, что в среднестатистической галактике такие события происходят примерно раз в 100 тыс. лет (в тысячу раз реже «обычных» сверхновых), поэтому ученые не ожидали обнаружить их так скоро. Благодаря детекторам гравитационных волн астрономы получили достаточно полную картину слияния двух сверхплотных объектов. Теперь мы можем с уверенностью сказать, что килоновые вспыхивают заметно чаще, чем считалось ранее, и именно они стали источниками основной части химических элементов тяжелее железа, в том числе радиоактивных и драгоценных металлов.



Рабочая группа проекта GOTHAM, посвященного наблюдениям молекулярного облака TMC-1 в созвездии Тельца с помощью радиотелескопов обсерватории Грин Бэнк, сообщила о регистрации свыше десятка молекул полициклических ароматических углеводородов. Эти сложные молекулы, ранее не наблюдавшиеся в межзвездном пространстве, позволяют ученым лучше понять механизмы возникновения жизни. Структуры молекул в нижнем ряду (слева направо): 1-цианонафталин, 1-цианоциклопентадиен, цианополиин, 2-цианонафталин, винилицианацетилен, 2-цианоциклопентадиен, бензонитрил, транс-(E)-циановинилацетилен, пропаргилианид. M. WEISS / CENTER FOR ASTROPHYSICS | HARVARD & SMITHSONIAN

Тугоплавкие пылинки сыграли в эволюции нашего мира очень важную роль. Они выступили в качестве «центров конденсации», сделав возможным формирование звезд из не очень массивных газовых облаков. Так возникли светила солнечного типа, а также более легкие красные и коричневые карлики.

Наше Солнце в конце своего жизненного пути пройдет стадию красного гиганта — огромной звезды, в недрах которой идет термоядерный синтез на основе гелия. Верхние слои ее атмосферы будут достаточно холодными, чтобы отдельные молекулы (главным образом оксиды металлов и кремния) появились уже там. Потом эти слои начнут расширяться и рассеются в пространстве, обогатив его «готовыми» химическими соединениями. Множество светил солнечного типа уже сделали это, о чем свидетельствует большое количество

наблюдаемых планетарных туманностей, представляющих собой сброшенные гибнущими звездами оболочки, и белых карликов — медленно остывающих звездных ядер.

На каком этапе эволюции во Вселенной может возникнуть жизнь земного типа? Безусловно, для этого должно пройти немало времени, поскольку она все же протекает в водных растворах и в определенном диапазоне температур, т. е. не может существовать вне планет с атмосферой и гидросферой. К тому же земная жизнь базируется на органических молекулах — таких, в которых присутствует химическая связь углерода с водородом и между атомами углерода. Следовательно, должна реализоваться определенная последовательность реакций для возникнове-

ния углеродных цепочек, состоящих хотя бы из двух звеньев.

Время необходимо также для «наработки» азота — ключевого элемента, входящего в состав аминокислот, нуклеиновых кислот и порфириновых циклов (важных составляющих таких соединений, как хлорофилл и гемоглобин). Можно с уверенностью утверждать, что в Солнечной системе, сформировавшейся примерно через 9 млрд лет после Большого взрыва, он уже присутствовал в достаточном количестве. А вот наличие фосфора таким критическим условием уже не является: 9 лет назад в ходе весьма оригинальных экспериментов удалось доказать, что в первых живых клетках его вполне мог заменить мышьяк.

В последние полвека благодаря успехам радиоастрономии в межзвездной среде удалось найти множество «кирпичиков жизни» — аминокислот, спиртов, сахаров, ароматических соединений... Количество известных «космических» органических молекул уже приближается к двум сотням (без учета изомеров и изотопомеров). Среди них имеются и довольно сложные, имеющие в своем составе до 12 атомов. Наибольшее их разнообразие встречается в областях звездообразования наподобие Туманности Ориона. Несомненно, все они в итоге окажутся на планетах, которые возникнут вблизи новорожденных звезд, и активно включатся в процессы биосинтеза, как только хоть где-то для этого возникнут благоприятные условия.

Успешный лабораторный добиологический синтез органических

Благодаря массиву радиотелескопов ALMA, построенному в пустыне Атакама, астрономы обнаружили соединения фосфора в области звездообразования AFGL 5142, наблюдаемой в созвездии Возничего (ее снимок служит фоном данной инфографики). Слева вверху показано радиоизображение туманности, кружком обведен регион, где зарегистрированы спектральные линии монооксида и нитрида фосфора (их молекулы показаны на врезке слева внизу). На присутствие фосфора указывают и данные, полученные спектрометром ROSINA, который работал на борту европейского зонда Rosetta, исследовавшего комету Чурюмова-Герасименко (67P/Churyumov-Gerasimenko). Снимок ее ядра показан справа внизу. Вероятнее всего, именно с такими кометными ядрами этот элемент попал на молодую Землю. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Rivilla et al.; ESO/L. Calçada; ESA/Rosetta/NAVCAM; Mario Weigand, www.SkyTrip.de





Используя данные космического телескопа Spitzer и результаты бомбардировки ядра кометы Темпеля-1 (9P/Tempel) в ходе миссии Deep Impact, астрономы составили рецепт «кометного супа» — первичного вещества протопланетного облака Солнечной системы, практически в неизменном виде сохранившегося в кометных ядрах:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1 — смектиновая глина, | 3 — шпинель, |
| 2 — полициклические ароматические углеводороды, | 4 — железо, |
| | 5 — карбонатный доломит |

веществ из формамида (H_2NCONH_2) под действием ионизирующих излучений в присутствии метеорных частиц в качестве катализаторов был проведен в 2015 г. российско-итальянском группой ученых в Объединенном институте ядерных исследований в городе Дубна. Выяснилось, что широко распространены

в космосе молекулы формамида в присутствии мелко раздробленных метеоритов при облучении быстрыми протонами — аналогом солнечного ветра — становятся абиогенным источником разнообразных аминокислот и других важнейших биологических соединений. Аналогичные результаты получены при облучении ультрафиолетом пиримидина ($C_4H_4N_2$), замороженного в «грязный лед» с содержанием элементов, соответствующим наблюдаемому в межзвездной среде. Следовательно, «кирпичики жизни» возникают в протопланетных дисках еще на стадии слипания пылинок.

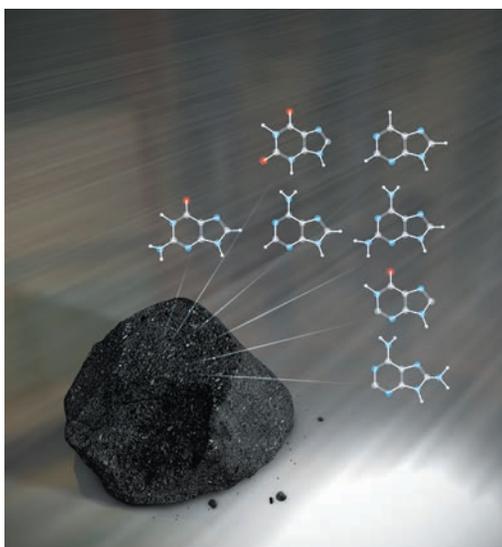
Весьма вероятно, что на нашу планету были занесены сразу несколько вариантов будущей жизни, но в итоге во враждебной среде молодой Земли смогла «выжить» лишь одна первичная форма, — возможно, не самая удачная, но другой мы на данный момент просто не знаем: с белками в качестве «строительного материала» и ДНК, состоящей из четырех азотистых оснований (аденин, гуанин, тимин, цитозин), в которой записан «чертеж строительства» каждого белка и живой клетки.

Что определило именно такой набор генов, которым мы располагаем? Скорее всего — спектр и интенсивность излучения моло-

дога Солнца (и в несколько меньшей мере — физические условия на ранней Земле), которые значительно отличались от нынешних. В ранние эпохи его активность была более высокой, чем сейчас, и менее упорядоченной. Затем установились циклы, однако их амплитуды оставались нерегулярными. Отношение светимости нашей звезды в мягком рентгеновском диапазоне (0,15–4 кэВ) к ее полной светимости долгое время оставалось очень высоким. Высокоэнергетическое излучение разрушало все сравнительно нестойкие молекулы, оставляя самые «живучие».

Впрочем, некоторые ученые рассматривают и более экзотический вариант: первые живые клетки образовались на океаническом дне, возле жерла подводного вулкана или гейзера (сейчас их называют «черными курильщиками»). Они совершенно не зависели от солнечного света и использовали для жизнедеятельности энергию химических реакций вулканических выбросов с водой. Если это действительно так, то мы получаем огромный простор для поисков жизни в Солнечной системе в виде глобальных подледных океанов крупных спутников Сатурна и Юпитера. Именно на последние — Ганимед и Европу — нацелены несколько межпланетных миссий, которые NASA и ESA собираются организовать в ближайшем десятилетии.

Так выглядит химическая эволюция Вселенной согласно существующим представлениям. Возникновение более сложных молекул и живых организмов должно происходить уже в подходящих для этого условиях на планетах, имеющих жидкую среду (воду), необходимый молекулярный состав и температурный режим. Во всяком случае, именно так на Земле возникла первая живая клетка и все ее производные. Человек, обладающий сознанием и разумом, является продуктом длительной химической эволюции, в ходе которой жизни неоднократно приходилось приспосабливаться к экстремальным условиям, изменениям климата и последствиям катастрофических событий. Однако, несмотря на все трудности, жизнь продолжается. И мы надеемся, что это явление не ограничивается лишь пределами нашей планеты, а широко распространено во Вселенной.



В ходе исследований, финансируемых NASA, получены доказательства того, что «строительные блоки» молекул ДНК — носителей генетической информации — присутствуют в метеоритах, сформировавшихся в космосе еще до появления больших планет (их формулы представлены на рисунке; метеорит показан условно). Это подтверждает гипотезу о том, что важнейшие составляющие земной жизни на самом деле были синтезированы в условиях космоса, после чего «занесены» на Землю при падениях комет и астероидов. NASA's Goddard Space Flight Center/Chris Smith