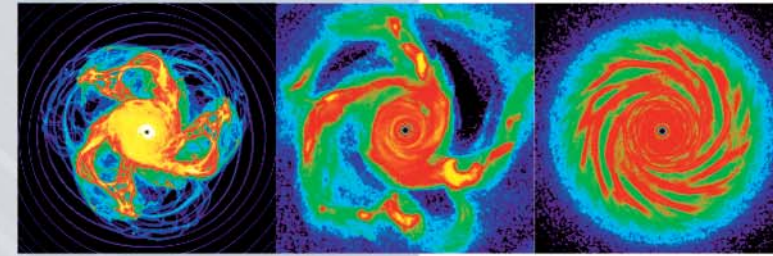


Валерий СНЫТНИКОВ
Валентин ПАРМОН



Допланетная жизнь не значит инопланетная: новая гипотеза происхождения жизни предложена сибирскими учеными

Фундаментальная наука сосредоточена на решении четырех основных проблем.

1. Как устроена материя. Этой задачей занимаются физики — строят мощные ускорители, детекторы и другие установки на пределе современных технологий.
2. Как возникла жизнь. Как появилось, в частности, живое вещество на поверхности Земли. Здесь поле деятельности биологов, химиков, геологов...
3. Как возникло сознание и что это такое. Над этой проблемой бьются психологи, теологи, философы... Влияние их работ на естественные науки невелико. Кажется, что и естественнонаучные методы сюда еще не проникли.
4. Где мы находимся — в пространстве и во времени.

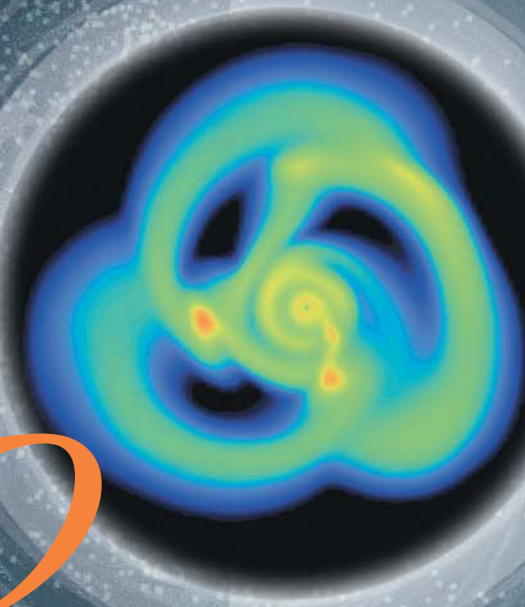
Сегодня ответ на последний вопрос звучит примерно так: в Новосибирске (Риме, Париже, Москве...), на материке Евразия планеты Земля, которая движется вокруг Солнца, принадлежащего галактике Млечный Путь в «местном скоплении» галактик в нашей Вселенной. Той самой Вселенной, что родилась в Большом взрыве около 15 миллиардов лет назад вместе со своим временем, пространством и веществом. Реликтовое излучение, за-

полняющее Вселенную, несет нам сведения о первых мгновениях ее существования. Помимо привычного для нас вещества, есть косвенные признаки присутствия еще и «темного» вещества, неизлучающая масса которого во Вселенной, возможно, во много раз больше массы видимого вещества. Материя из протонов, нейтронов и электронов, появившихся во взрыве, образовала при остывании водород и гелий. Во время расширения Вселенной возникли условия для концентрации водорода и гелия в особые образования — будущие галактики. Вещество остыло до такого состояния, что оно смогло собираться под воздействием обыкновенной гравитационной силы. Его деление на сжимающиеся сгустки привело к образованию звезд первого поколения — они были очень большими и состояли из водорода и гелия. Термоядерные реакции в этих звездах закончились их взрывом, и произошел выброс новых синтезированных элементов — кислорода, азота, углерода и других, более тяжелых. Выброс этих элементов облегчил возможность формирования новых звезд. Второе поколение звезд выбросило следующие порции элементов в пространство. Эволюция держала путь к элементам периодической

Ученые давно пытаются ответить на «вечные» вопросы, касающиеся образования планет, происхождения жизни и самого сознания на Земле. Один из ключевых — где, когда и при каких условиях появилось первичное органическое вещество, ставшее основой для всех живых организмов? Есть несколько наиболее распространенных гипотез, намечающих возможные подходы к ее решению. При этом синтез «земных» органических соединений никогда не «привязывался» к процессам возникновения сгустков вещества в протопланетном облаке. Но оказывается — и это выяснили исследователи СО РАН — при определенных условиях во вращающейся околозвездной среде возникают области интенсивного синтеза органических соединений. Одна из этих областей стала источником первичного органического вещества для прото-Земли и местом ее зарождения в Космосе. Это совершенно новый и неожиданный взгляд на проблему происхождения жизни.



ЖИЗНЬ



Создает планеты?

таблицы, и на этом она не закончилась.

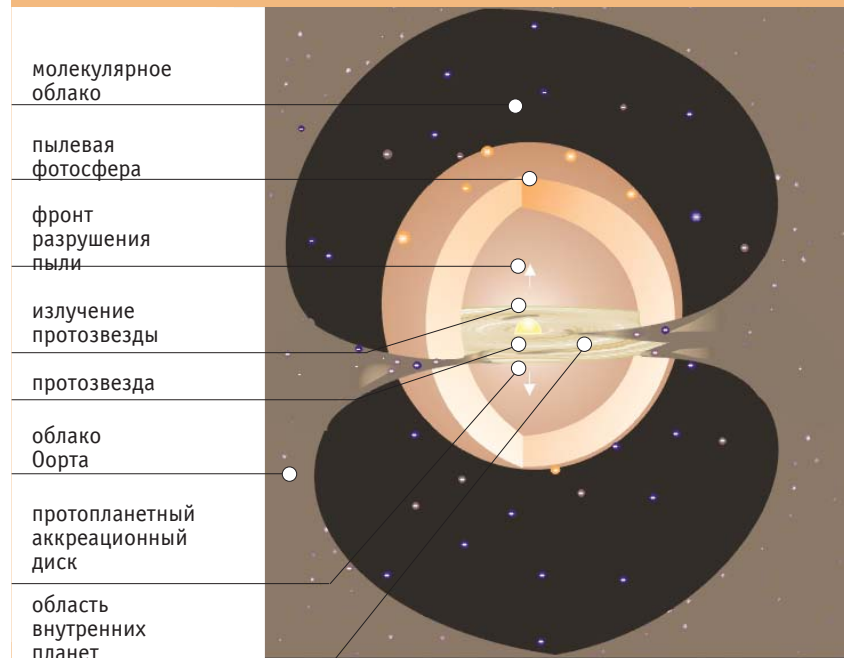
Идея эволюции, вышедшая из недр биологии, проникла в физику и астрофизику. В понимании эволюции важно, что если сначала были водород и гелий, то другие элементы синтезировались исходно лишь в малых количествах. Звезды — это механизм, средство эволюции. Её результат — тяжелые элементы. Исходное вещество, водород и гелий, как промежуточный шаг эволюции, — остается. Возникновение нового качества получило название «самоорганизация».

Новое качество при самоорганизации в любой системе появляется с развитием неустойчивости. Система находится в каком-то одном состоянии, но в ней возникают такие условия, когда часть этой системы может перейти в другое состояние. Простой наглядный пример: на перевернутую выпуклостью вверх полусферу помещается шарик. Рано или поздно он скатится вниз — шар на полусфере неустойчив. В неустойчивой системе — физической, биологической, экономической — любой! — наблюдается та же картина: новое состояние возникает не во всей неустойчивой системе, а лишь локально в ее малой части при внешних воздействиях на всю систему, иными словами — в открытой системе. Элементы системы ведут себя при самоорганизации совместно, осуществляется коллективное взаимодействие.

Звезды — это механизм, средство эволюции, результатом которой являются тяжелые элементы

В такой открытой системе, холодном молекулярном облаке, 4,6 млрд лет назад появилось Солнце. Солнце — заурядная звезда 2-го или 3-го поколения. Но у нашего Солнца есть система планет.

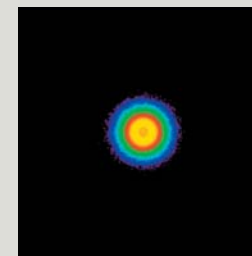
Формирование протозвезды вместе с околозвездным аккреционным диском в молекулярном облаке



Звездообразующий гравитационный коллапс в молекулярном облаке происходит на временах порядка 0,1 млн лет. До миллиона лет на протозвезду из окружающей среды поступает (аккрецируется) вещество, увеличивая ее массу на десятки процентов (по отношению к массе современного Солнца). При коллапсе, как следствие сохранения момента импульса, вокруг протозвезды может образоваться тонкий аккреционный диск. Масса вещества в диске превосходит массу современных планет примерно на два порядка. Добавочная масса связана с присутствием водорода и гелия, среднее содержание которых в межзвездной среде и на Солнце достигает 98%. Размеры протопланетного диска составляют несколько сот астрономических единиц, простираясь за современное облако Оорта, где находятся современные кометы. На внешнем краю диска его плотность

и температура выходят на параметры молекулярного облака. С точки зрения космического химического реактора, наиболее важна область от орбиты Меркурия до орбиты Плутона, то есть от 0,2 а. е. до 40—50 а. е. Угловая толщина диска на этих масштабах не превышает, по-видимому, 3—5 градусов. С момента появления протозвезды и при дальнейшей эволюции Солнца в эту зону диска поступает энергия. Поток энергии в диск и поток массы с диска на протосолнце, с учетом возможного влияния магнитных полей, определяют распределение температуры и плотности среды в диске. Значения температуры среды на удалении порядка земного радиуса от протосолнца на начальной стадии по ряду оценок лежат в диапазоне от 500 до 1000 К. Давление газа может достигать 0,001 атм.

А на одной из этих планет, Земле, по сравнению с Солнцем отмечен огромный недостаток водорода, гелия, углерода, азота — самых распространенных элементов в космосе. И почему-то оказалось, что некоторая доля этих элементов на поверхности Земли стала эволюционировать в качестве живого

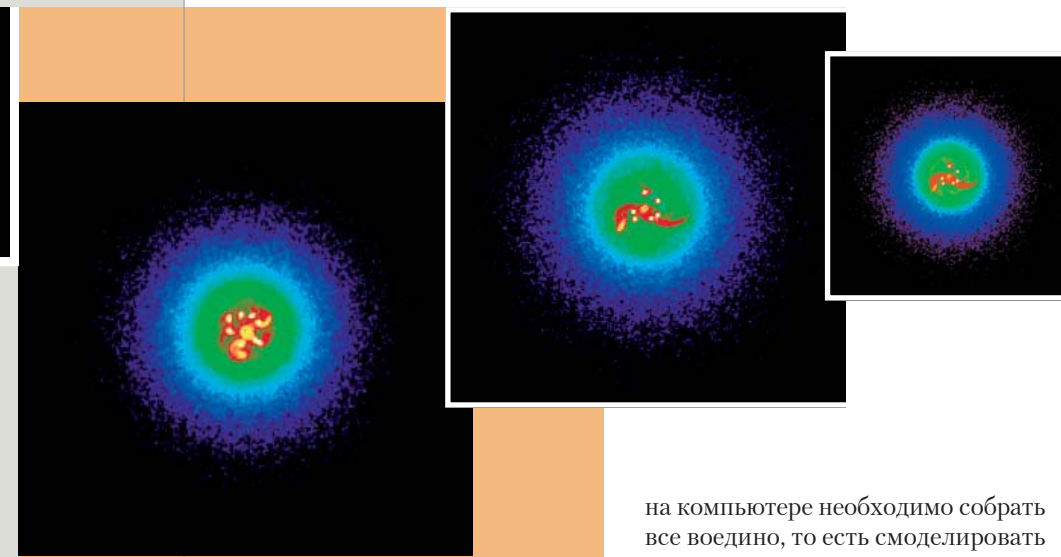


вещества в биологических системах. Возникают простые вопросы. Имела ли Земля ранее большее количество указанных элементов? Если имела и потеряла, то как, когда и сколько? Живое вещество появилось до или после потери? Сами планеты — это результат самоорганизации материи, очередной этап ее эволюции или нет? Почему вообще вокруг Солнца появились планеты?

К сожалению, пока у нас нет однозначных ответов на все эти вопросы. Как нет прямых данных о том, как все это произошло. Самые старые геологические записи имеют возраст 3,8 — 4,1 млрд лет. Их очень мало, они единичны. Следы органической жизни в них, как и в метеоритах, при существующих методиках анализа ненадежны и спорны. О первых 600 млн лет из 4,6 млрд лет жизни Земли нет данных вообще. Все первичные породы земной коры оказались полностью преобразованы в последующих геологических процессах и в результате бомбардировки планеты космическими телами.

Проблема планетообразования и проблема возникновения жизни

Утверждение о каталитической активности космического материала подтверждено исследованием образцов реальных метеоритов



сходятся для Земли в одной временной точке. Следовательно, если бы проблема планетообразования была решена, она могла бы стать отправной точкой для решения и проблемы зарождения жизни. Научные проблемы часто решаются комплексно, тому есть примеры.

Но вот вопрос — как же нам получить реальные и научно обоснованные данные о процессе, если нет его прямых следов и известен лишь его результат? Для этого в науке был создан свой метод. Как это ни странно, своим появлением он обязан запрету на испытания ядерного оружия. Уже долгое время они не проводятся. Но знать, что происходит при взрывах, — необходимо, ведь не бросишь же заниматься безопасностью государства. А в лаборатории ядерную бомбу не взорвешь. Решение было найдено: в лабораторных экспериментах должны быть получены надежные данные о каждом отдельном процессе, влияющем на взрыв, а потом

на компьютере необходимо собрать все воедино, то есть смоделировать явление. Чем мощнее компьютер, тем больше характеристик можно учесть. И картина получается все более приближенной к реальной. Проверить же созданные компьютерные программы можно сопоставлением расчетов с наблюдениями природных явлений — для вспышек на Солнце, например. Неслучайно, что Я. Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий и другие ученые, работая над ядерным оружием, попутно решили ряд важных астрофизических, химических и технологических задач. Всю такую работу необходимо провести в комплексе, хотя это и очень сложно. На каждом этапе требуется следовать всем без исключения фундаментальным физическим законам и, в частности, законам сохранения. При несоответствии указанным законам работа отсеивается, идет «в корзину смусором». Это жесткий критерий, но он гарантирует научный результат. Необходимые для компьютерного моделирования законы описываются математическими уравнениями.

По сути, их немного, и решать необходимо не все из них сразу. Все это и есть наш метод.

Еще одним шагом был анализ наиболее популярных гипотез происхождения жизни.

Существует большое количество работ по астрофизике плотных молекулярных облаков в космосе. В земных условиях — это сверхглубокий вакуум. Но уже в таких облаках есть и молекулы, и органические вещества, есть и возможность химических реакций. В. И. Гольдманский вообще предположил, что первичный органический синтез происходил именно в молекулярных облаках. По популярной ныне гипотезе С. Аррениуса («жизнь произошла в космосе»), органическое вещество выпало на Землю в готовом виде. Но это на сегодня выглядит недостаточно правдоподобно. Химический синтез в космосе на времена жизни космических облаков не компенсирует разрушения молекул. Ведь в космосе или невозможно жарко — и молекулы разрушаются, или очень холодно и пусто — и синтез молекул идет крайне медленно.

По гипотезе А. И. Опарина, жизнь зародилась на самой Земле в океанах. С. Миллер перенес первый синтез сложных органических молекул в протоатмосферу с ее молниями и сильным ультрафиолетовым излучением. Во многих других объяснениях появились вулканы, лавы, тихие лагуны и так далее, чаще всего по внутренней сути — замечательно оснащенные химические лаборатории с высококвалифицированным научным персоналом. При всем при этом жизнь на Земле реально существует, а данных о ее происхождении для серьезной научной проверки остается крайне мало. К тому же эффективность большинства таких органических химических синтезов, за исключением биохимических

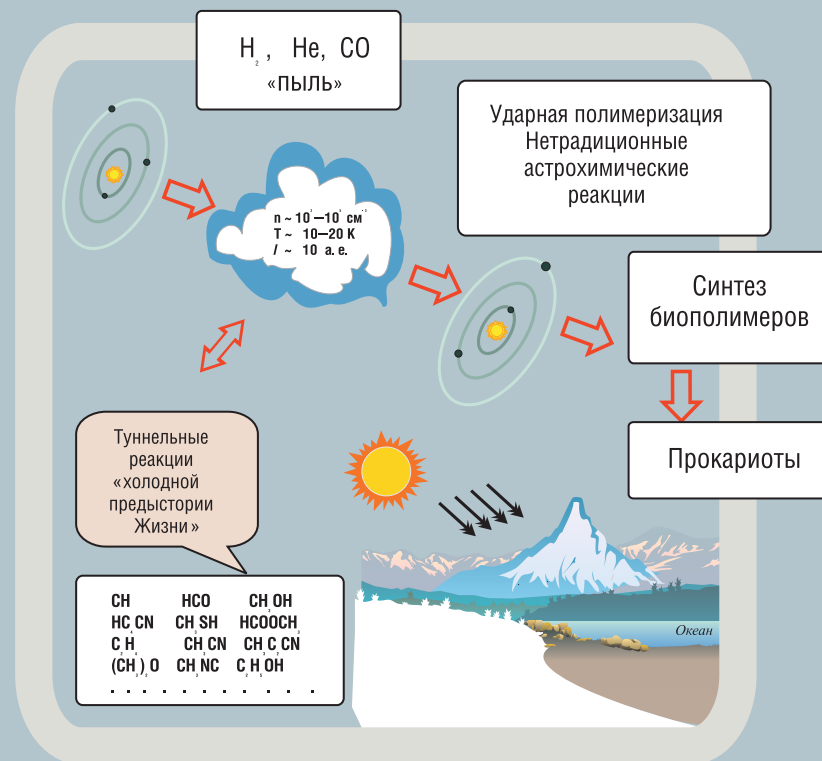
в живых организмах, в природе невелика. А тут требуется не несколько молекул или граммов вещества синтезировать. В недрах Земли захоронено значительно больше углеродсодержащего вещества по сравнению с живым на поверхности. Не будем забывать и тот факт, что химический состав Земли приблизительно известен лишь на 100–150 км вглубь. О том, что спрятано дальше, мы можем судить только по косвенным признакам.

Обе гипотезы о происхождении жизни были отвергнуты, и появилось предположение о синтезе органических соединений непосредственно при образовании Земли. Существовавшая теория появления планет из первичного газо-пылевого облака, окружавшего протосолнце, не решила проблемы формирования планет земной группы. В. С. Сафроновым и другими учеными рассматривалось формирование планет в столкновениях тел. При столкновении тела с раз-

Гипотеза Аррениуса-Гольдманского

В космических молекулярных облаках при криогенных температурах, по земным меркам — в сверхглубоком вакууме, происходят туннельные реакции «холодной предистории жизни». В таких облаках появляются органические и другие углеродсодержащие соединения. При прохождении солнечной системой молекулярного облака в атмосфере планеты происходят ударная полимеризация органических соединений и другие нетрадиционные астрохимические реакции. В результате на Землю выпадают сложные органические вещества

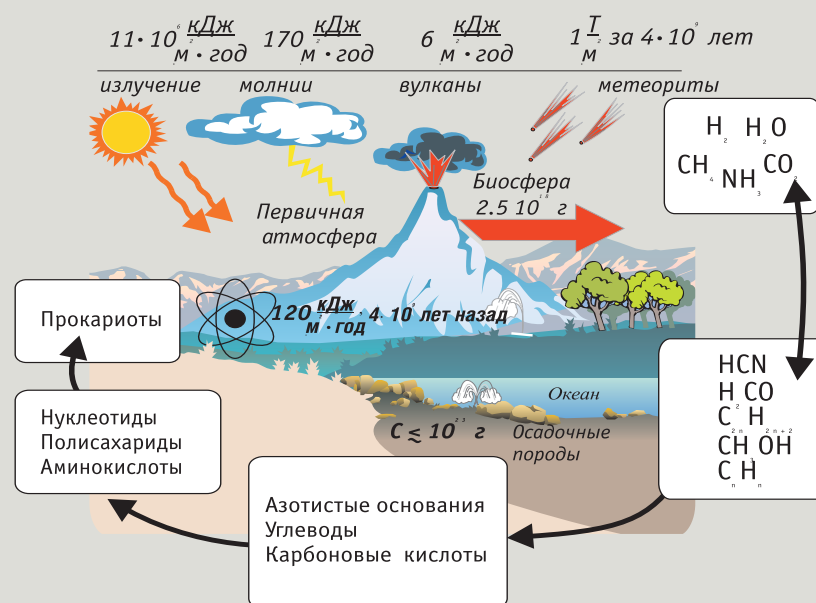
Гипотеза Аррениуса-Гольдманского



Гипотеза Опарина-Холдейна

Абиогенный синтез первичного органического вещества идет на поверхности Земли. Гипотеза предполагает появление «жирного бульона» на поверхности в восстановительной атмосфере ранней Земли под действием молний, вулканов, ультрафиолетового излучения Солнца, космических лучей, тепловой энергии радиоактивных нестабильных изотопов. В концентрированном «бульоне» происходит зарождение простейших организмов. В рамках этой гипотезы установлено, что в неравновесных условиях из простейших неорганических веществ могут синтезироваться сложные органические соединения вплоть до аминокислот

Гипотеза Опарина-Холдейна



мером порядка тысячи километров с меньшим телом осколки притянутся к крупному, и оно еще более укрупнится. А вот средние тела (несколько сот километров в диаметре) не могут ни укрупниться, ни поглотиться. Они при ударе разрушаются. Каков же тогда механизм самоорганизации, приводящий к образованию планет земной группы? Таким механизмом должно быть развитие коллективной неустойчивости, одновременное объединение многих-много малых тел. Отметим, что наибольшее развитие исследование коллективных неустойчивостей получило в физике плазмы, в проблеме управляемого термоядерного синтеза и в синергетике.

Итак, исходное предположение: синтез первичных органических соединений и образование планет — две стороны одной медали. С точки зрения химиков, требовалось показать работу универсального природного реактора, в котором синтезировалось органическое вещество. С точки зрения физиков, требовалось изучить образование планет как самоорганизацию материи, как результат воздействия протозвезды на свое окружение с учетом обратных связей и химических реакций в среде.

С этого момента была поставлена и четко сформулирована очень сложная математическая задача. Предстояло решать нестационарное и пространственно трехмерное

Наиболее популярные гипотезы происхождения жизни на Земле сомнительны и противоречивы. Жизнь могла зародиться до оформления вещества в планету, в процессе ее образования

уравнение Власова–Лиувилля вместе с уравнением Пуассона и уравнениями газодинамики. Чтобы с этим справиться, понадобилась помощь самых мощных компьютеров. Последовательность наших действий тут такова. Берем отдельную частицу и решаем для нее уравнения движения. Решаем для второй, третьей, и так для миллионов и миллиардов частиц. Их количество прямо зависит от возможностей компьютера. Затем определяем создаваемое частицами гравитационное поле. Снова рассчитываем движение частиц в поле. И так далее. Программы и алгоритмы

для расчетов были созданы В. А. Вшивковым на основе своего более чем 30-летнего опыта в решении задач физики плазмы. В результате мы узнаем траектории всех частиц, устойчиво их движение или нет, определяем все интересные нас характеристики. Одна из очевидных динамических характеристик — эволюция средней плотности вещества. Средняя плотность связана с тем, как мы видим, скажем, галактики. В галактиках, подобных нашей, сосредоточены десятки и сотни миллиардов звезд. При расчетах на современных супер-ЭВМ по числу частиц мы подошли к реальному числу звезд. Так что правильность наших расчетов мы можем проверить в сравнении с наблюдениями галактик.

И вот в расчетах мы воспроизводим шары, диски, кольца, спиральные рукава, т. е. все то, что наблюдают астрономы в космосе. Спирали и кольца возникают при развитии неустойчивости коллективного движения тел вместе с газом. Анализ развития неустойчивости показал, что эти структуры появляются, когда массы твердых тел в газе превышает некоторую величину. При каких условиях масса начинает возрастать, что служит толчком к этому? Как легко увидеть, совокупная масса всех тел вокруг протозвезды может увеличиться за счет вращения. Это обычный эффект центрифуги. Кроме того, в газе вязкие и рыхлые тела могут слипнуться между собой, особенно если они богаты органическим веществом. Примерно так, как слипаются песчинки, если между ними есть пластилин. В свою очередь, органическое вещество легко синтезируется на твердых катализаторах. Для этого они должны содержать железо, никель и кремний — в комбинации, примерно соответствующей их природной распространенности. Но такая комбинация характерна для классических катализаторов синтеза углеводов в химиче-

ском процессе Фишера-Тропша. В этом синтезе исходными реагентами являются СО и водород — вместе с гелием эти газы наиболее распространены в космосе. В промышленности азот на аналогичном железосодержащем катализаторе превращается в аммиак. Судя по элементному составу Солнца, в околозвездном диске недостатка не было ни в катализаторе, ни в исходном газе — водороде, с трудом получаемом на Земле.

Наличие еще более тяжелых частиц-катализаторов кардинально меняет развитие неустойчивости. Вместо колец и спиралей на общем фоне плотности появляются сгустки вещества — более стабильные образования. Эти образования могут двигаться как угодно — по ходу и против вращения, к центру и от центра. Такими свойствами обладают солитоны — одиночные волны плотности. Волна этого типа формируется коллективным самосогласованным движением многих частиц. Частица захватывается

Гипотеза каталитического реактора в околозвездном диске

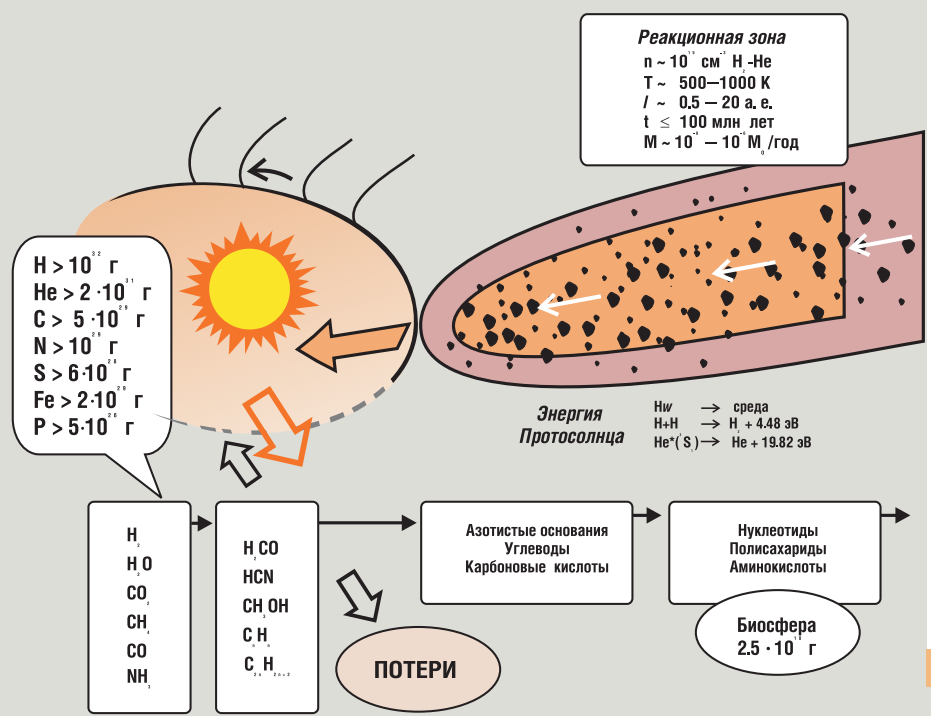
Планеты формируются через накопление межзвездной пыли в диске. Столкновение пылинок приводит к их слипанию. Увеличение массы и размера частиц твердой фазы способствует их удержанию в диске. Рост пыли ограничивается примерно на метровом диаметре. Тела этих размеров совершают несколько оборотов вокруг протозвезды до столкновения между собой. На этой стадии поток газа на протозвезду фильтруется через слой относительно редко сталкивающихся тел. Органические соединения синтезируются из простых молекул. Масса вещества в диске локально нарастает. Крупные тела, планетезимали, образуются благодаря развитию коллективной неустойчивости движения многих мелких тел. Из многокилометровых планетезималей создаются современные кометы, метеориты и планеты

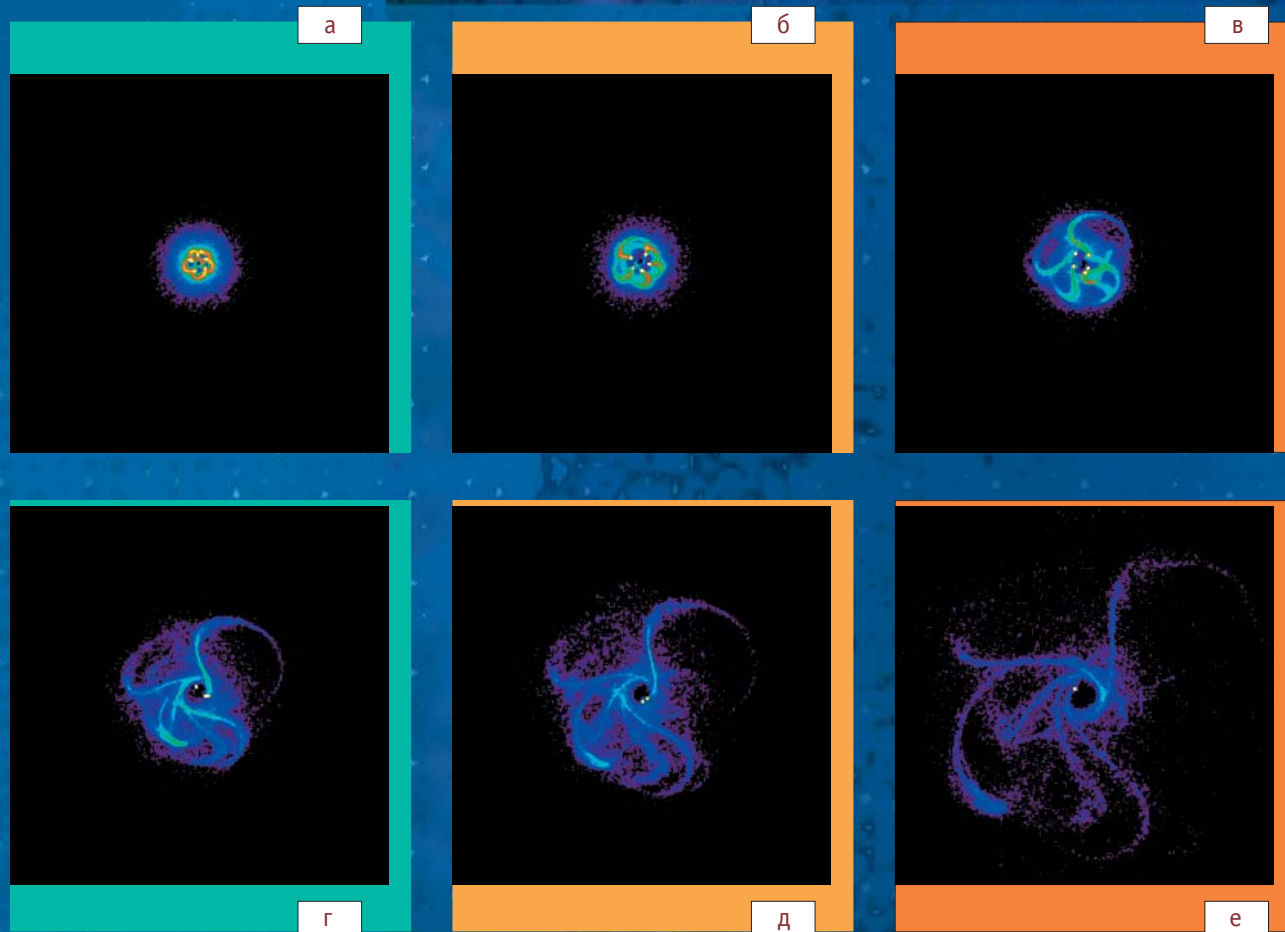
в волну, находится в ней некоторое время и уходит. Другая частица просто пролетает мимо. Но вот что неожиданно. Давление газа в этой волне на два порядка (или даже более) превышает окружающее и приближается к атмосферному. Частицы совместно собирают в волну газ. А температура в волне особенно не растет. Большое количество гелия, свыше 20%, снимает тепло, выделяющееся при химических реакциях. Волна действует как великолепный химический каталитический реактор. Он устроен по типу промышленных реакторов с «псевдооживленным» или кипящим катализатором. Это один из самых эффективных, но вместе с тем и сложных для эксплуатации в химическом производстве промышленных реакторов. Более того, в природном реакторе может происходить и регенерация катализатора. Частица прилетела — прореагировала — вылетела — очистилась влучах Солнца — и на новом обороте

снова прилетела. Если космический реактор был физически устроен именно так, то химические процессы протекали — по давлению и температуре реагентов — в условиях, близким к условиям обычных лабораторных каталитических реакторов. Поэтому химические реакции первичного синтеза органического вещества и начальных стадий предбиологической эволюции нужно изучать при давлениях и температурах лабораторных каталитических реакторов, а не типичных условий поверхности Земли. По геометрическим размерам, по другим параметрам, связанным с массо- и теплообменом, с воздействием излучения, в земных условиях нет никаких устройств, близких к космическому реактору. Дальнейшая эволюция вещества в рассматриваемой волне очевидна. При увеличении массы органики волна схлопывается в сгусток ве-

щества, имеющий среднюю скорость частиц и их момент импульса. В ближней к Солнцу зоне сгусток движется вокруг Солнца, теряя водород, гелий, легкую органику под действием солнечного ветра и излучения. В дальней зоне Юпитер и холодные внешние планеты сохраняют эти газы. Затем сгусток превращается в планету, вступая в геологическую эволюцию. Основная масса органического вещества и метана из зоны первичного синтеза разрушается, попав на Солнце и развеваясь в космосе. Однако тяжелые и сложные органические соединения при огромной своей концентрации в волне могли сохраниться в дальнейших катаклизмах и стать основой для возникновения и питания биологического сообщества. Или же темпы химической эволюции были столь стремительны, что жизнь зародилась даже до оформления вещества в планету — на фоне колоссальных потерь органического вещества. Как было предположено, на стадии потерь, снижения количества «пищи», начинается естественный отбор молекул-автокатализаторов уже на химическом уровне. Важно, что он может происходить не только в обычных земных условиях. Определив эти условия более точно, можно выяснить, с чего стартовал отбор, перебросить мостик к биохимии и поставить новые химические и физические эксперименты. Следовательно, наиболее оптимальные условия для первичного синтеза органического вещества создаются в волнах плотности — в этих огромных, сравнимых по размеру с Солнцем или даже больших волнах плотности. Потенциально эти волны, как видно из моделирования, подвержены разрушению, но иногда они становятся колыбелью для планет. Дальнейшая детализация эволюции волн плотности будет достигнута в последующих расчетах с учетом более точных приближений.

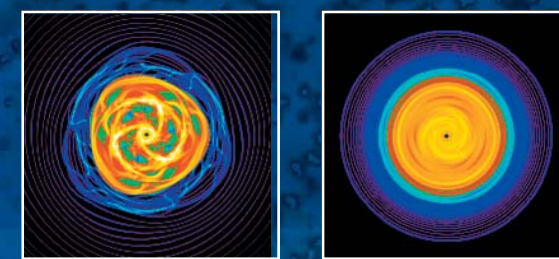
Космические спирали и кольца возникают как развитие неустойчивости коллективного движения тел вместе с газом. На общем фоне плотности появляются более стабильные образования — сгустки вещества, ведущие себя, как солитоны





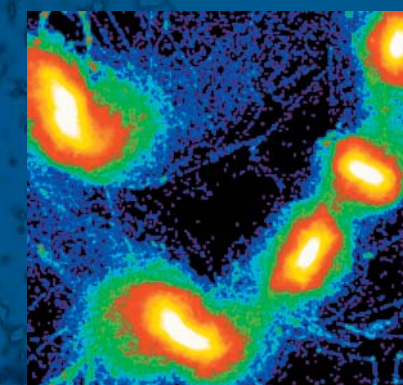
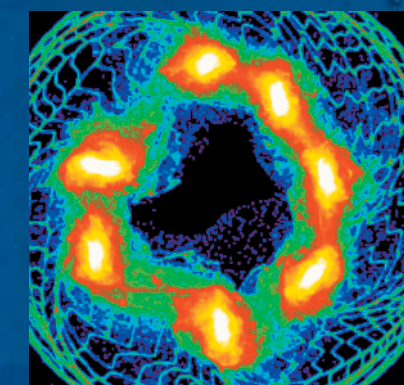
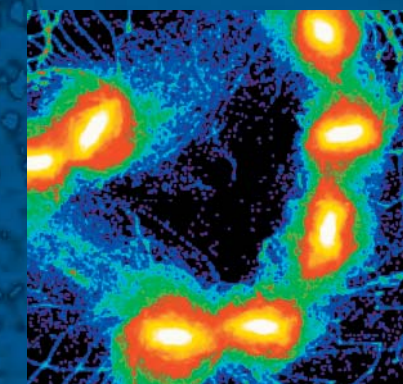
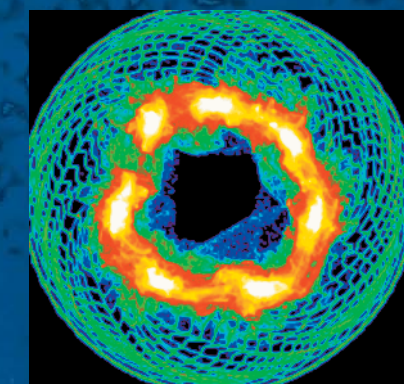
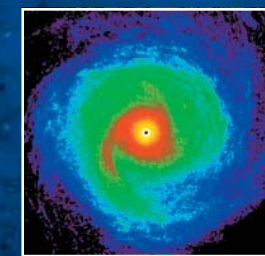
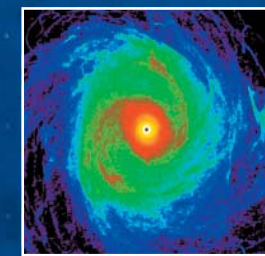
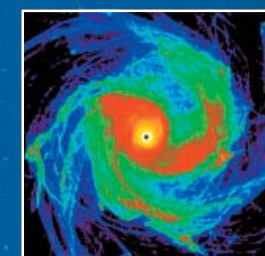
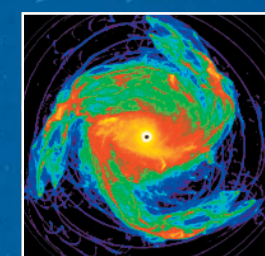
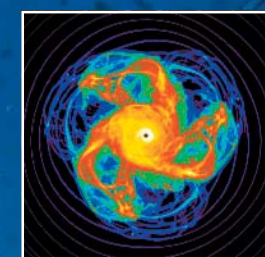
Формирование, взаимодействие и динамика солитонов плотности в околозвездном протопланетном диске

- а) развитие неустойчивости
- б) активные волны
- в) укрупнение сгустков
- г) через сгустки проходит вещество
- д) остаются одна или две волны, которые можно назвать стационарными
- е) при благоприятных условиях они становятся планетой. Разные цвета в начале — это распределение плотности вокруг центральной протозвезды. Вокруг нее вращается вещество, оно нестабильно. Компьютерное моделирование



Распад холодного вещества на сеточно-ячеистую структуру с образованием больших сгустков

Так может выглядеть развитие джинсовской неустойчивости, которая определила крупномасштабную структуру Вселенной. Компьютерное моделирование (Снытников В. Н. и др. Письма в Астрономический журнал, 2003 г.)



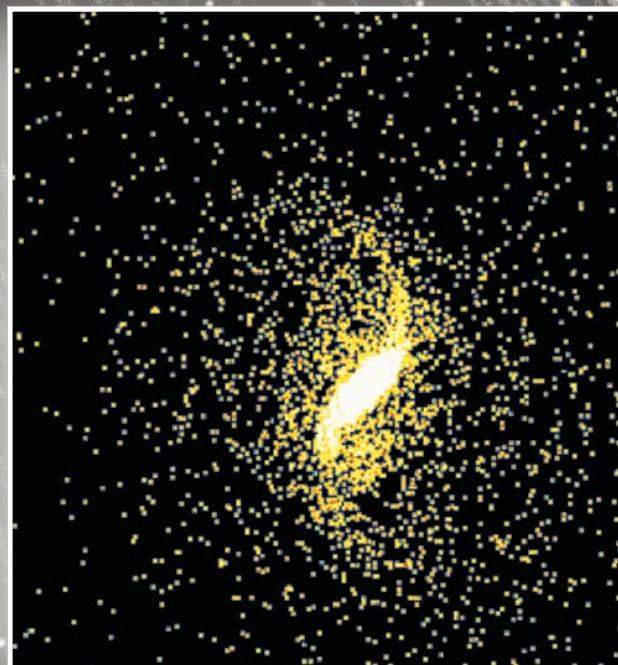
Компьютерное моделирование динамики волн плотности в газопылевом диске вокруг протозвезды

Развитие неустойчивости самоогла-сованного движения вещества в гравитационном поле на нелинейных стадиях создает условия для трансформации колец в спирали и далее определяет сложную структуру перемешивающихся твердых тел и газа с падением вещества на центральное тело. В данном случае неустойчивость развивается в плоскости, и движение частиц вдоль оси вращения не задано — это усложнило бы картину

1	2
3	4

Одиноким волнам плотности подвержены разрушению, но иногда становятся колыбелью для планет и действуют подобно химическим каталитическим реакторам, где синтезируется органическое вещество

Одиноким сгусток вещества. Такой сгусток является предком комет, планет, астероидов. Компьютерное моделирование



Одно из ключевых мест в наших исследованиях — утверждение о каталитической активности космического материала. Это требуется экспериментально подтвердить. С одной стороны, каменные или железо-каменные метеориты по своему составу приближаются к космической распространенности элементов. С другой же, вещество метеоритов за 4,6 млрд лет своего существования спеклось. Метеориты имеют обычную непористую поверхность, и трудно определить способность вещества катализировать реакции. Однако исходно, в молекулярных облаках и околозвездном диске, межзвездная пыль состояла из частиц нанометрового размера. Наша задача заключалась в возвращении метеоритного вещества в свое первичное состояние с дальнейшей проверкой его каталитической активности. Вещество метеоритов испаряли с получением мельчайших пылинок при помощи излучения CO₂-лазера на экспериментальном стенде Института катализа Сибирского отделения РАН. Из образцов метеоритов «Маслянино», «Марковка», «Царев», содержащих железо, были получены порошки с удельной поверхностью выше 200 м²/г, что характерно для промышленных катализаторов. Изучив фотоснимки образцов, сделанных с большим увеличением, мы убедились, что средний диаметр частиц, составляющих порошок, не превышает 3–4 нм — более крупных частиц практически нет.

Каталитическая активность образцов определялась в реакции

гидрирования угарного газа — типичного компонента межзвездной среды — до метана и других углеводородов при атмосферном давлении. Результаты экспериментов показали, что на полученных образцах (при прогнозируемых температурах до 500 градусов Цельсия и атмосферном давлении) из CO и водорода в присутствии гелия весьма успешно синтезируются высокими выходами этилен и другие углеводороды. Тем самым было экспериментально подтверждено наше предположение о том, что исходная межзвездная пыль, которая превратилась за 4,6 млрд лет в падающие с неба камни, могла обладать хорошими каталитическими свойствами, и органические соединения должны были синтезироваться еще в исходном газопылевом облаке.

Еще один важный вопрос: насколько предопределено образование планет? Оказалось, что самоорганизация вещества в гравитационной физике идет в одном направлении, детерминировано. Но место возникновения единственной волны и появления планеты на одном или на другом удалении от Солнца — это, в нашей модели, случайные величины. Если волна плотности окажется на орбите Венеры, то там всё — вода, водород, органические соединения — испаряется. Если там, где орбита Марса, — там слишком холодно. А наша планета, где вода находится во всех трех состояниях, попала в самую точку. Вероятности появления планет на определенном удалении могут быть определены при проведении дальнейших расчетов. Пока неизвестно, изменится ли ответ при учете дополнительных физико-химических процессов. Важность этого ответа связана с определением возможной зоны распространения жизни в Солнечной системе, стем, где проходит ее граница — до марсианской орбиты или за ней. Если Марс не входит в эту зону, то его изучение в условиях дефицита ресурсов может быть в большей мере направлено на получение дан-

«Видообразование» в гравитационной физике. Переход частиц от регулярного движения к стохастическому (по-другому, случайному) при развитии неустойчивости с формированием нового состояния

Частицы регулярного (а) и стохастического (б) движения поначалу занимают одни и те же области пространства. После формирования новой структуры — солитона — частицы регулярного движения остаются только на периферии области. Плотность частиц в экваториальной плоскости. Компьютерное моделирование (Вшивков В. А., Никитин С. А., Снытников В. Н. Письма в ЖЭТФ. 2003 г.)

ных о самой планете, чем на поиски живых организмов, и наоборот.

Наша гипотеза находится в пограничной области многих дисциплин. Она становится мостиком между физическим, химическим и геологическим этапами эволюции Солнечной системы и Земли. Пока найдены лишь подходы к решению комплекса проблем, касающихся первичного синтеза органического вещества в космических облаках. Далее следует внимательно наблюдать места звездообразования. Для этого требуются наземные установки, орбитальные телескопы... Не менее нужны надежные данные с Марса, Венеры, Титана — спутника Сатурна, из зоны астероидов и метеоритов. Созданная математическая модель еще не гарантирует хорошую точность числа для расчетных величин. Неучтенными остаются важные физико-химические процессы. Но ключевая идея имеет большой потенциал для своего развития.

