




АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВ

# Рожденные из пыли



На протяжении нескольких веков космогония — астрономическая дисциплина, изучающая возникновение и развитие планетных систем, — занималась лишь умозрительными гипотезами. Однако в последние десятилетия ситуация радикально изменилась. Теперь космогонические исследования прочно опираются на фундамент физических законов, точных компьютерных моделей и данных наблюдений планетных систем у других звезд.

**З**а полвека до появления теории всемирного тяготения Рене Декарт рассуждал о мировом эфирном вихре, в котором, как пыль на оси смерча, сгущается Солнце, а вокруг вихри поменьше формируют планеты. Это была первая вполне научная космогоническая гипотеза, которая объясняла, почему планеты обращаются вокруг Солнца в одной плоскости и в одном направлении.

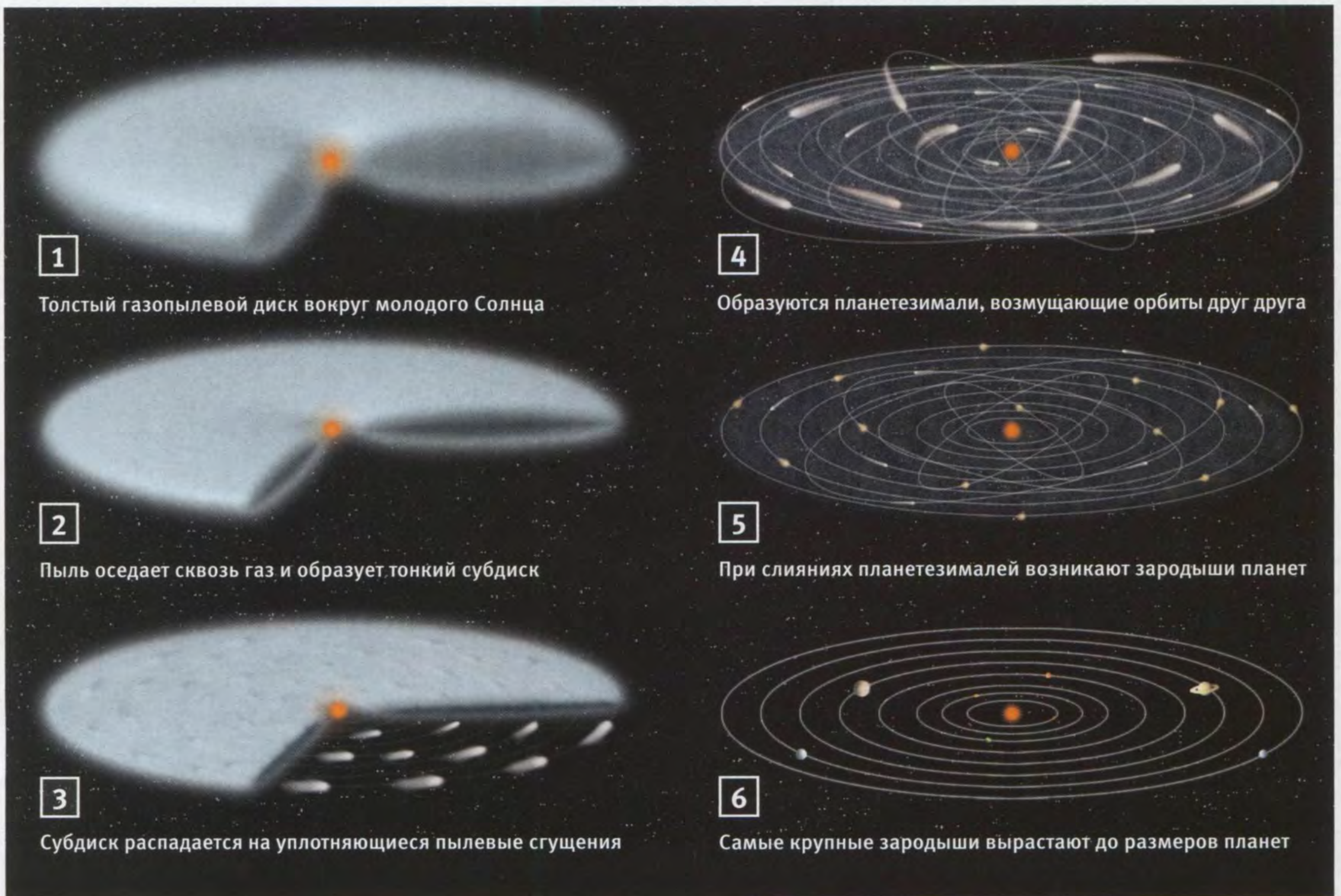
Спустя почти два века Пьер Симон Лаплас писал уже о сжатии первичной туманности под действием гравитации и о том, что ее вращение будет при этом ускоряться в соответствии с законом сохранения момента импульса. Когда вращение, полагал он, становится слишком быстрым, от экватора будущего Солнца отделяются кольца газа, из которых потом формируются планеты.

К сожалению, в небулярную (от латинского *nebula* — «туманность») гипотезу Лапласа никак не укладывалось медленное вращение Солнца вокруг своей оси. Делая один оборот за 26 суток, оно несет всего 2% от полного углового момента (момента импульса, то есть, грубо говоря, «количества» вращательного движения) всего вещества Солнечной системы. Остальные же 98% приходятся на планеты, которые в 750 раз уступают Солнцу по массе. Представьте себе самосвал с песком, тормозящий перед светофором. Из-за резкой остановки немного песка просыпается и по инерции уносится вперед... со скоростью пули. Невероятно? Но столь же парадоксальной выглядит и концентрация большей части вращения Солнечной системы в нескольких ничтожных по массе планетах. Споткнувшись на этой проблеме, космогония полтора века топталась на месте и в какой-то момент даже пошла по неверному пути.

### НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ДЖИНСА

Мало кто знает, что идеи эволюции связаны с именем Чарлза Дарвина не только в биологии, но и косвенным образом в астрономии. Его сын Джордж Дарвин долгое время исследовал эволюцию системы Земля — Луна под действием приливных сил и возмущений других планет. Признанием его заслуг стала кафедра астрономии в знаменитом Тринити-колледже в Кембридже, где когда-то преподавал Исаак Ньютон, а также избрание председателем Королевского астрономического общества.

На рубеже XIX и XX веков Джордж Дарвин предложил своему студенту Джеймсу Джинсу изучить вопрос о равновесии газового облака в космическом пространстве: при каких условиях давление газа может уравновесить его собственное тяготение. Исследовав задачу, Джинс неожиданно пришел к выводу, что она не имеет решений. Расчеты, опубликованные в 1902 году, показывали, что любое космическое облако обречено либо на рассеяние, либо на неудержимое сжатие под действием собственного тяготения. Такой исход зависит от соотношения трех параметров: размеров, плотности и температуры облака. Маленькое разреженное и горячее облако рассеется, большое плотное и холодное — сожмется. Если достаточно обширное пространство однородно заполнить газом, то он из-за случайных флуктуаций плотности самопроизвольно распадется на облака, ►



1

Толстый газопылевой диск вокруг молодого Солнца

4

Образуются планетезимали, возмущающие орбиты друг друга

2

Пыль оседает сквозь газ и образует тонкий субдиск

5

При слияниях планетезималей возникают зародыши планет

3

Субдиск распадается на уплотняющиеся пылевые сгущения

6

Самые крупные зародыши вырастают до размеров планет

Образование Солнечной системы по сценарию Института физики Земли (1964). В деталях современная космогония далеко ушла от этой схемы, но общие черты угаданы в ней верно

## Работы Шмидта и Альфвена вывели космогонию из тупика, в котором она пребывала со времен Лапласа

размер которых определится температурой и плотностью. В горячем газе фрагменты будут крупнее, в холодном — меньше.

Это явление получило название «джинсовской неустойчивости». Через нее в астрономию вошла эволюция, хотя в полной мере это было осознано только полвека спустя. Именно джинсовская неустойчивость объясняет, почему горячий газ в ранней Вселенной стал распадаться на колоссальные области, в которых позднее, при более низкой температуре, начали появляться многочисленные зародыши галактик. Внутри Галактики газопылевые комплексы, в сотни тысяч раз превосходящие по массе Солнце, в определенный момент начинают фрагментироваться и сжиматься, становясь очагами образования звезд, а с ними и планет.

Казалось, открытие Джинса подкрепляло гипотезу Лапласа, однако оно не помогало справиться с главной проблемой космогонии — парадоксальным распределением углового момента между Солнцем и планетами. В результате сам Джеймс Джинс отбросил небулярную гипотезу и предположил, что планеты — следствие редкой катастрофы: сближения (почти столкновения) с Солнцем другой звезды, которая своим тяготением увлекла в космос и закрутила вокруг Солнца часть его вещества. Забавно, что гипотеза Джинса прямо противоречила его же собственной теории неустойчивости космических облаков: горячий газ, вырванный с поверхности Солнца, ни

за что не сконденсируется в планету, а бесследно рассеется в пространстве. Тем не менее гипотеза Джинса долгое время была весьма популярна среди публики, всегда падкой на рассказы о катастрофах. Окончательно от нее отказались только к 1940-м годам, когда выяснилось, что в ней все равно не удастся получить нужное распределение углового момента. Астрономам ничего не оставалось, как вернуться к небулярной гипотезе.

### ГИПОТЕЗА ШМИДТА

В самый разгар Великой Отечественной войны, в 1943 году, советский математик Отто Юльевич Шмидт выдвинул гипотезу, согласно которой Солнце, двигаясь по Галактике, увлекло своим притяжением холодную пылевую туманность. На возражения астрономов о невозможности гравитационного захвата при сближении двух тел Шмидт отвечал, что одновременно с Солнцем мимо туманности, вероятно, проходила другая звезда, которая и помогла захватить вещество. Получилась еще одна сомнительная катастрофическая гипотеза, каких в первой половине XX века выдвигалось множество. Но заслуга Шмидта состояла том, что, несмотря на сомнения, он рискнул исследовать детали эволюции околосолнечного протопланетного облака, чем до него почти никто всерьез не занимался. Созданная им научная группа в 1945 году стала отделом эволюции Земли в Институте теоретической



Компьютерное моделирование показывает, что космические пылинки имеют рыхлую неоднородную структуру

геофизики (ныне Институт физики Земли РАН имени О.Ю. Шмидта). Разрабатывая гипотезу своего руководителя, сотрудники отдела глубоко ее переработали: отбросили идею о случайном захвате облака, а его состав сделали смешанным газопылевым.

В итоге к 1960-м годам сформировался следующий классический сценарий образования планетной системы. При сжатии первичной туманности примерно 5—10% вещества образуют вокруг Солнца газопылевой диск. Из-за аэродинамического трения пыль быстро оседает сквозь газ к плоскости диска и формирует тонкий пылевой субдиск. В нем возникают сгущения, из которых вырастают планетезимали — скрепляемые гравитационными силами плотные объекты примерно километровой размера. Они укрупняются в столкновениях, формируя зародыши планет диаметром тысячи километров, которые своим притяжением собирают остатки газа, пыли и более мелких планетезималей, а затем, сливаясь друг с другом, превращаются в планеты.

Хотя от идей Шмидта в этом сценарии осталось не так уж много, в России его принято называть именем основоположника. В мире же он больше известен по работам астронома Виктора Сафронова, который пришел в отдел Шмидта в 1949 году и в течение полувека развивал эту теорию.

В 1972 году в Ницце прошла большая конференция, где космогонисты детально обсуждали четыре основных сценария образования планетных систем, разработанных британскими, американскими, шведскими и

советскими специалистами. Последняя модель в итоге была признана наиболее обоснованной с точки зрения динамики. В том же году монография Виктора Сафронова «Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет» была издана в США, закрепив приоритет советской космогонической школы.

И все же модель Шмидта так и не разрешила ключевых проблем космогонии: откуда взялось протопланетное облако, почему оно стало сжиматься, как из пыли образовались планетезимали и в чем же все-таки причина перераспределения углового момента?

### РЕШЕНИЕ АЛЬФВЕНА

Шведский физик Ханнес Альфвен, как и Шмидт, увлекся космогонией во время войны. Он был специалистом по электромагнитным явлениям и заложил основу целого научного направления — магнитной гидродинамики. Плазменные волны в магнитном поле, открытые им в 1950 году и названные его именем, принесли ему спустя 20 лет Нобелевскую премию. Опираясь на свои исследования в области электромагнетизма, Альфвен периодически выдвигал весьма смелые астрофизические гипотезы. Так, еще в 1937 году он предсказал существование галактических магнитных полей, а занявшись космогонией, опубликовал с 1941 по 1945 год целую серию статей о влиянии электромагнитных явлений на динамику газового протопланетного диска.

Одна из этих статей начинается несложным расчетом сил, действующих на протон, запущенный вокруг Солнца по земной орбите: «Сила, действующая на него со стороны магнитного поля Солнца, в 60 000 раз больше солнечной гравитации!» — восклицает Альфвен и показывает, что формирующееся Солнце должно было своим магнитным полем вовлекать во вращение окружающий ионизированный газ. В результате всего за 100 000 лет большая часть вращательной энергии Солнца могла быть передана протопланетному диску. Британский астрофизик Фред Хойл в 1960 году развил эту идею, добавив, что за счет турбулентных движений газа вращение может передаваться даже в отдаленные области протопланетного диска за орбитой Плутона, куда уже не достает магнитное поле. Детали этих процессов до сих пор еще не вполне ясны, но очевидно, что принципиальное решение парадокса углового момента найдено и катастрофические гипотезы больше не требуются. Одновременно определилось, что протопланетный диск должен содержать много газа — на пыль магнитное поле действует куда слабее.

### КОСМИЧЕСКИЙ МОРОЗИЛЬНИК

Впрочем, и пыль тоже необходима для образования звезд и планет. Газ в Галактике весьма разрежен и сам по себе не сжимается. Ударные волны от взрывающихся звезд и предсказанные Альфвеном галактические магнитные поля местами уплотняют его, но этого вряд ли хватило бы для запуска джинсовской неустойчивости, если бы не космическая пыль.

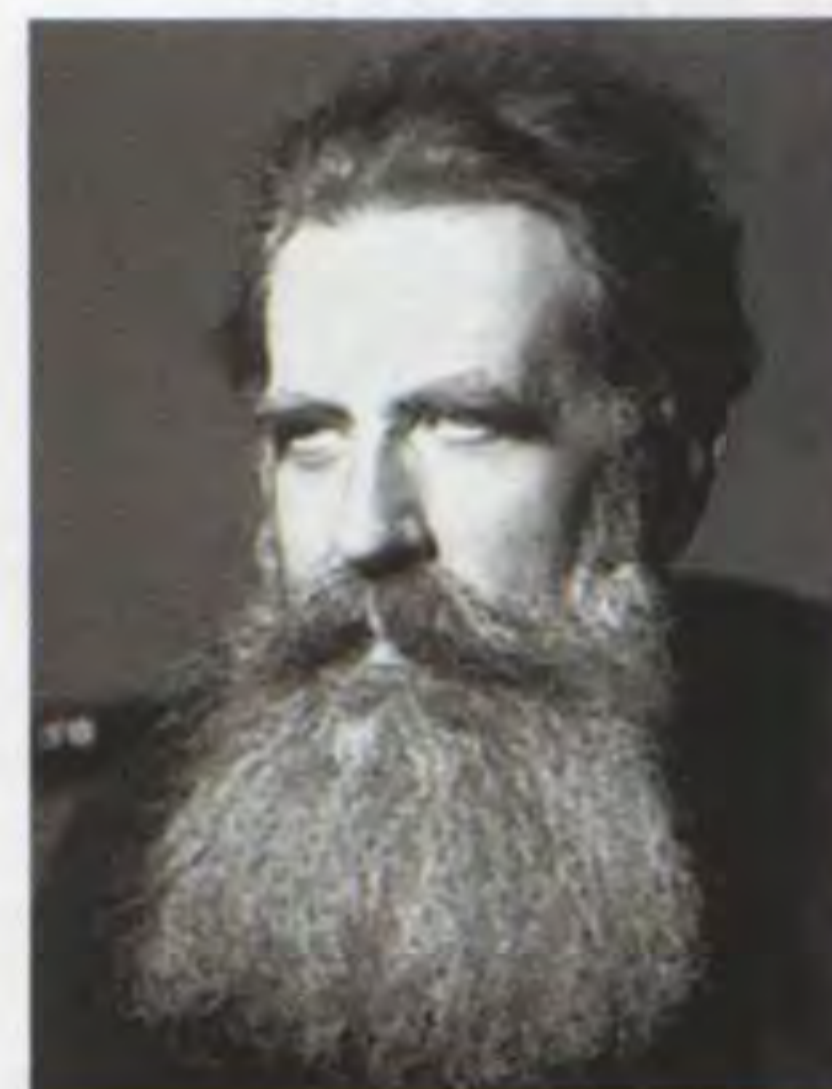
Крошечные ядра пылинок размером в сотые доли микрона образуются при конденсации тугоплавких веществ в атмосферах ►



Пьер Симон Лаплас (1749—1827), автор первой астрофизической космогонии



Джеймс Джинс (1877—1946), автор катастрофической космогонической теории



Отто Юльевич Шмидт (1891—1956), основатель советской космогонической школы



Ханнес Альфвен (1908—1995) открыл роль электромагнитных явлений в космогонии



В отличие от классического сценария сейчас считается, что газовые планеты-гиганты формируются во внешней части протопланетного диска за так называемой границей льда. Внутри нее излучение разгорающейся звезды испаряет ледяные частицы и выметает прочь газовую составляющую диска

## Механизм образования планет не понять без нанofизики, изучающей механизм слипания космических пылинок

холодных красных звезд. Давление излучения выбрасывает их в космос, где на поверхности пылинок оседают и вступают в химические реакции атомы газов. Так в межзвездной среде образуются относительно сложные молекулы, в том числе органические. Сдерживает рост пылинок ультрафиолетовое излучение звезд, выбивающее с их поверхности атомы и молекулы. В межзвездной среде на пыль приходится всего тысячная доля массы, но именно она служит системой охлаждения газовых облаков. Сталкиваясь с атомами газа, пылинки поглощают энергию удара, а потом испускают ее в виде теплового инфракрасного излучения.

Там, где межзвездная среда уже немного уплотнена, пылинки чаще сталкиваются с атомами, быстрее растут и эффективнее охлаждают газ. Достигнув микронных размеров, они заслоняют свет звезд, делая облако непрозрачным для ультрафиолета. Теперь, когда их росту ничто не мешает, пылинки буквально вымораживают облако изнутри, охлаждая его иногда ниже 3 градусов Кельвина — температуры вездесущего микроволнового фона. Вместе с температурой падает давление газа, а значит, и его способность противостоять самогравитации. В полную силу начинает работать джинсовская неустойчивость, и газопылевое облако разваливается на холодные черные фрагменты, которые медленно обрушиваются внутрь самих себя.

Сжимаясь в миллионы раз, облако пропорционально ускоряет свое вращение. Изначально оно было едва заметно и вызвано особенностями прохождения ударных волн и гравитационными возмущениями со стороны соседних звезд. Но при сжатии газ может раскрутиться до такой

степени, что облако разделится пополам и даст начало двойной звезде. Половинки облака сжимаются дальше и могут вновь разделиться — так появляются иерархические двойные звезды. Когда же закрутки для такого разделения не хватает, основная масса формирует центральное сгущение — протозвезду, а остаток образует вокруг нее газопылевую диск, в котором начинается сложный процесс формирования планет.

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ АГРЕГАЦИЯ

Если прижать друг к другу две крошечные пылинки, они могут соединиться силами межмолекулярного притяжения. Радиус действия этих сил сравним с размерами атома, и они могут связать частицы, только если те сближаются очень медленно, как будто происходит стыковка крошечных космических кораблей. Сталкивающиеся даже на небольшой скорости пылинки молекулярным силам не удержат. Необходим какой-то иной механизм, заставляющий пылинки слипаться, а не отскакивать друг от друга, как горошины. Американский астрофизик Аластер Кэмерон, например, предположил в конце 1970-х годов, что во внутренней части диска железные частицы расплавлены излучением центральной звезды и при столкновениях сливаются. Более убедительные идеи стали появляться только в последние 10—20 лет.

В 2002 году немецкие ученые показали, что если пылинки в протопланетном диске были слегка намагничены, это может в тысячу раз повысить скорость их объединения. Свои теоретические выкладки авторы вскоре подтвердили серией экспериментов с намагниченными частицами в условиях микрогравитации (при



ESO

суборбитальных полетах). За считанные минуты из свободно плавающих в вакууме пылинок формировались беспорядочно изогнутые длинные нити и сети, которые тут же начинали сталкиваться и слипаться. Возможно, именно так укрупнялись пылинки в близких к Солнцу горячих областях протопланетного диска.

Для областей диска за «линией льда», то есть на таком расстоянии от звезды, где могут, не испаряясь под действием солнечного излучения, существовать ледяные частицы, возможен другой механизм, основанный на электрическом, а не магнитном притяжении. Американские исследователи под руководством химика Джеймса Коуина обратили внимание на то, что при конденсации водяного пара в условиях высокого вакуума и низких температур образующиеся кристаллики льда спонтанно поляризуются: один край несет положительный заряд, а другой — отрицательный. Летящие по соседству пылинки могут притягиваться противоположно заряженными краями, а сойдясь вплотную, соединяться силами молекулярного притяжения. Образовавшаяся конструкция вновь оказывается поляризованной, и агрегация пылинок продолжается дальше.

Правда, у поляризованных пылинок есть враг — ионы и свободные электроны, которые притягиваются к заряженным концам и нейтрализуют их. Поэтому эффективность электростатического механизма слипания пылинок зависит от степени ионизации протопланетного диска. А она, в свою очередь, возникает под воздействием жесткого излучения соседних звезд. И тут важную роль играет слоистая структура протопланетного диска. Большая часть жесткого излучения поглощается в его внешнем слое, так что в глубине, где находится тонкий пылевой субдиск, ионов должно быть не слишком много и пылинки успевают заметно подрасти.

Группа Коуина также обнаружила, что лед, образующийся при вакуумной конденсации, имеет нанопористую структуру и, несмотря на твердость, оказывается удивительно неупругим: в лабораторных экспериментах при неразрушающем соударении в тепло переходило 80—90% энергии удара. Если пылинки в протопланетном диске покрыты таким льдом, они будут слипаться гораздо охотнее обычных песчинок.

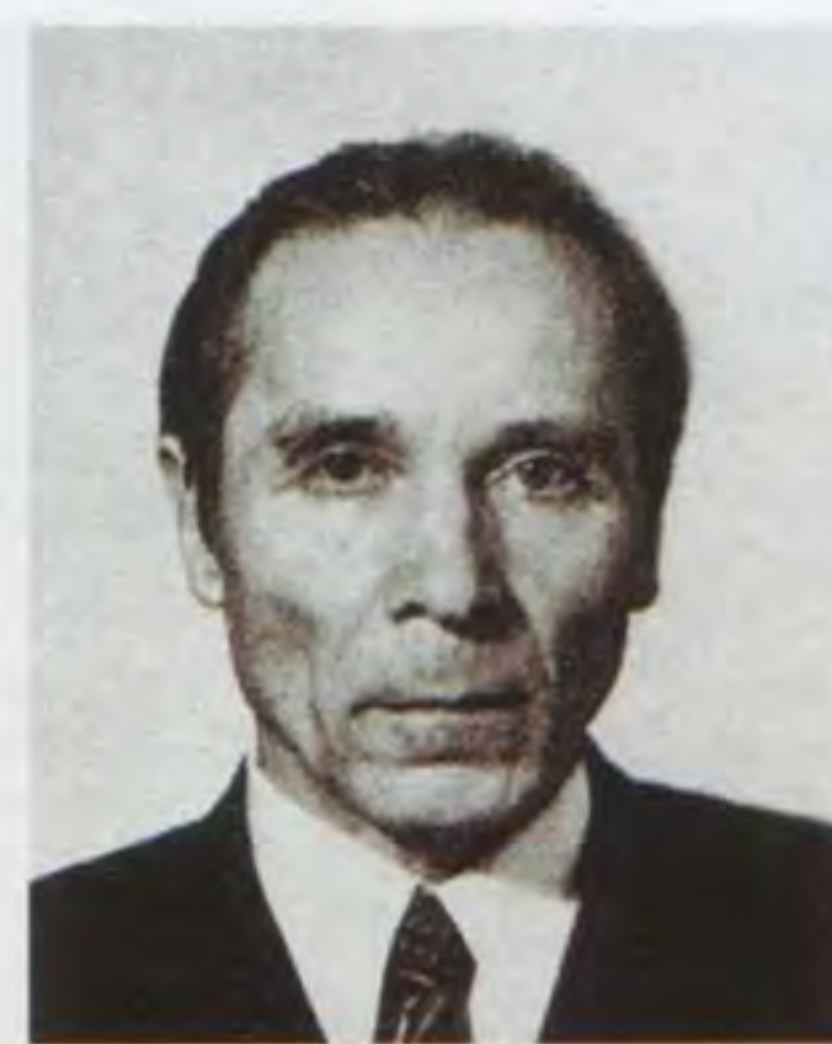
Впрочем, есть и не столь экзотичные идеи. Пылинки могут быть просто покрыты тонким слоем органических соединений, образовавшихся на них еще в межзвездной среде. При нагреве в протопланетном диске органика может обволакивать пылинки тонким слоем вязкой липкой грязи, за счет которой они будут легко склеиваться друг с другом.

## РОСТ ОЛИГАРХОВ

Слипание пылинок идет довольно быстро. Уже через 10 000 лет пылевые агрегаты вырастают до метровых размеров, а через 100 000 в диске движется порядка триллиона ( $10^{12}$ ) километровых планетезималей. Они уже достаточно массивны, чтобы проявлять гравитационные «амбиции» и «фокусировать» на себе широкий поток частиц, которые в противном случае пролетели бы мимо. Работая в режиме такого орбитального пылесоса, планетезимали могут ускорять свой рост в десятки и сотни раз. И чем крупнее планетезималь, тем быстрее она растет. Поэтому однажды отставшие уже вряд ли смогут догнать лидеров. Наступает так называемая эпоха олигархического роста.

Из всего множества планетезималей выделяются «олигархи», которые доминируют над прочими объектами в своей «зоне питания» — узком кольце диска вблизи орбиты, по которой они движутся. С исчерпанием запасов пыли рост большинства планетезималей замедляется, и только «олигархи» продолжают увеличиваться, поглощая мелких «конкурентов». Примерно за миллион лет в системе остается сотня-другая таких объектов с массой как у Луны или Марса. Это зародыши планет — протопланеты. Теперь в течение сотни миллионов лет им предстоит вести между собой борьбу за лидерство.

Двигаясь по близким траекториям, зародыши планет возмущают орбиты друг друга. Они все сильнее отклоняются от своих прежних «зон питания», переходя порой на вытянутые орбиты, которые, пересекаясь, ведут к столкновениям. Эти катастрофы совсем не похожи на взрывы. Хотя скорость столкновения достигает нескольких километров в секунду, тысячекилометровые протопланеты неспешно вминаются друг в друга. Процесс занимает от нескольких минут до часа, и почти вся энергия удара переходит в тепло. Вещество плавится, и в нем начинается медленное гравитационное фракционирование: железо и никель «тонут», образуя ядра будущих планет, а соединения полегче, в основном силикаты и лед, поднимаются ближе к поверхности. Конечно, при особенно сильных ударах, которые чаще случаются во внутренней части диска, где выше скорость орбитального движения, часть вещества может быть выброшена в окружающее пространство. Возможно, именно так, ►



Виктор Сафронов (1917—1999), ученик Шмидта, разработал классический космологический сценарий



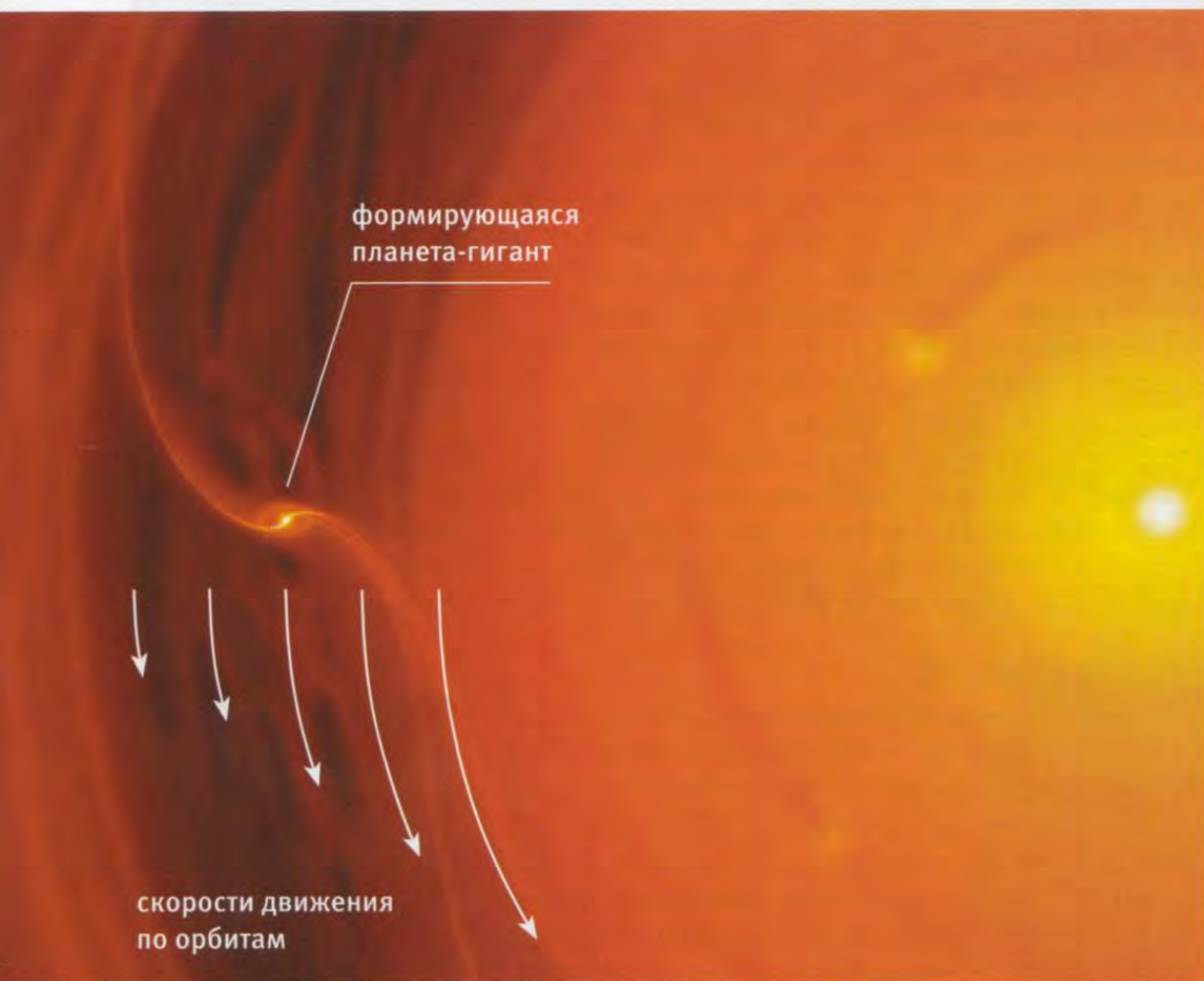
Аластер Кэмерон (1925—2005), автор двух конкурирующих гипотез о происхождении планет-гигантов



Фред Хойл (1915—2001), изучал турбулентные процессы в протопланетном диске



Джордж Уэзерилл (1925—2006), научился численно моделировать эволюцию облака планетезималей



SPL/EAST NEWS

## Гиганты очень важны для эволюции планетных систем, но как они образуются, еще не вполне ясно

Тяготение протопланеты возмущает газовый диск, формируя волнообразное сгущение: внутри орбиты оно обгоняет планету, а снаружи отстает. Тяготение этих сгущений влияет на планету. По расчетам, торможение оказывается чуть сильнее, и планета постепенно мигрирует на более низкие орбиты

за счет ударной потери внешних силикатных пород, у Меркурия образовалось непропорционально большое железное ядро, а у Земли появился спутник — Луна. Итог этого длительного процесса — одна или несколько планет, которые обращаются на достаточно далеких друг от друга орбитах, чтобы никогда не вторгаться в чужую зону влияния.

Выдающийся американский космогонист Джордж Уэзерилл в конце 1980-х годов разработал одну из первых программ для моделирования процесса укрупнения планетезималей. Сегодня в подобные численные модели вводят различные предположения о начальных условиях в диске и свойствах планетезималей и смотрят, как распределятся зародыши планет по орбитам и какой у них будет состав. Продолжив моделирование, можно получить строение готовой планетной системы.

### ГИПОТЕЗЫ КЭМЕРОНА

Описанный механизм удовлетворительно объясняет появление твердых планет земного типа. Они почти целиком формируются из пылевой составляющей диска, на которую приходится доли процента его массы. Газ не удерживается возле относительно небольших протопланет, находящихся в теплой центральной части системы. Иначе развиваются события за «линией льда», которая в Солнечной системе проходит примерно по поясу астероидов между Марсом и Юпитером. За ней вода конденсируется в лед, и твердых частиц оказывается больше, чем во внутренней области диска. Вдобавок скорость орбитальных движений, а значит, и столкновений тут ниже. Поэтому планетезимали растут здесь быстрее,

и довольно скоро появляются крупные протопланеты массой в несколько раз больше Земли. Они способны притягивать и удерживать не только твердую составляющую диска, но и газ. Начинается процесс аккреции, то есть падения газа на твердое ядро. И чем больше его падает, тем сильнее становится притяжение и быстрее растет масса планеты. Так рождаются планеты-гиганты, подобные Юпитеру и Сатурну. На весь процесс уходит несколько миллионов лет, в то время как образование планет земного типа парадоксальным образом занимает в несколько раз больше времени.

Гипотезу образования гигантов путем аккреции газа на крупную твердую протопланету предложил в 1972 году Аластер Кэмерон, и сегодня ее придерживаются большинство астрономов. Правда, сам Кэмерон довольно быстро охладел к своей идее и уже в 1978 году предложил другую: планеты-гиганты возникают в результате развития гравитационной неустойчивости во внешней части диска, из-за которой значительная часть газа прямо на орбите вокруг звезды теряет устойчивость и сжимается в одну или несколько гигантских планет. Подобным образом, вероятно, образуются и двойные звезды.

Серьезные аргументы есть как за, так и против обеих моделей. Критики модели неустойчивости говорят, что ей требуются несколько более массивные протопланетные диски, чем обнаруживаются в наблюдениях. Зато планеты-гиганты появляются в ней не через миллионы лет, а почти сразу, и это позволяет объяснить некоторые особенности планетных систем, которые представляют трудности для модели аккреции.

Дискуссии вокруг происхождения гигантов продолжаются, и нельзя исключить, что в разных случаях могут работать оба механизма, предложенные Кэмероном. Однажды журналист спросил Джорджа Уэзерилла: «Если бы Санта-Клаус подарил вам ответ на любой вопрос, что бы вы захотели узнать?» — «Я бы поинтересовался, откуда взялся Юпитер», — ответил тот.

### ПАСТУХИ-МИГРАНТЫ

Рождение гиганта — важный этап становления планетной системы. Своим притяжением он воздействует на движение газа и твердых составляющих диска, влияя тем самым на ход формирования других планет. Например, в Солнечной системе Юпитер помешал образоваться планете на месте пояса астероидов. Его гравитационные возмущения привели к тому, что планетезимали в этой зоне сталкивались на слишком больших скоростях и, вместо того чтобы сливаться, наоборот, дробились на части.

Еще более серьезные последствия возникают, когда гигантская планета начинает мигрировать по системе, постепенно меняя свою орбиту. При движении внутри газового диска растущий гигант порождает характерную волну плотности, которая напоминает выброс из-под колес мотоцикла, делающего вираж на грунтовом треке. Эта волна, постоянно сопровождающая планету, отбирает у нее энергию движения, заставляя подходить все ближе к звезде, пока не остановится

у внутреннего края газового диска — без газа миграция останавливается.

А внутри сжимающейся орбиты, как будто убегая от наступающего гиганта, теснится множество планетезималей, которых он сгоняет, как пастух стадо, из холодной внешней области системы во внутреннюю. В основе этого процесса лежит известное из небесной механики явление орбитальных резонансов: малые небесные тела тяготеют к орбитам, периоды обращения по которым соотносятся с периодом планеты-гиганта как небольшие целые числа, скажем 1:2 или 2:3. Не попадающие «в такт» объекты часто оказываются в непосредственной близости от «сурового начальства» и получают от него гравитационные «пинки», пока не попадают на одну из резонансных орбит. Планеты-гиганты, вызывающие такое сгущение планетезималей на определенных орбитах, принято называть «пастухами». Благодаря им взаимодействие между планетезималями усиливается и ускоряет рост планет.

Аналогичные резонансные семейства планетезималей возникают снаружи от орбиты гиганта. Весьма вероятно, что Сатурн в Солнечной системе образовался из планетезималей, которые «пас» Юпитер. И если бы не он, Сатурн мог бы просто не успеть сформироваться вовремя, чтобы собрать достаточную массу газа. Ведь уже через несколько миллионов лет после образования протопланетного диска газ из него выдувается разгоревшейся центральной звездой. Вероятно, поэтому Уран и Нептун, образовавшиеся из планетезималей, которые «пас» уже Сатурн, так и не смогли сравняться с ним по массе.

### ЖИЗНЬ ПОД ОПЕКОЙ ГИГАНТОВ

И это еще не все. Если бы не Юпитер, на Земле, скорее всего, не было бы воды. Ведь наша планета формировалась в центральной части диска, внутри линии льда, где вода находилась в газообразном состоянии. Каким же образом она появилась на Земле? Единственный разумительный ответ — из планетезималей, которые образовались за линией льда, но благодаря Юпитеру попали в центральные области Солнечной системы. Когда же формирование планет завершилось, притяжение Юпитера постепенно очистило Солнечную систему от «строительного мусора» — оставшихся без дела планетезималей. Если бы не это, процесс интенсивной кометно-метеоритной бомбардировки Земли, возможно, не завершился бы в первый миллиард лет ее существования, и в таком случае развитие сложной жизни было бы значительно затруднено.

В последние годы вблизи других звезд открывается все больше планетных систем. На начало 2009 года было известно уже 333 экзопланеты. Однако многих разочаровывает то, что абсолютное большинство из них — гиганты, сравнимые по массе с Юпитером и даже многократно превосходящие его. Ведь так хочется обнаружить планеты земного типа, на которых могла бы развиваться жизнь. Но теперь у нас есть все основания для оптимизма. Раз в других системах часто встречаются юпитеры, значит еще не открытые



NASA, ESA

далекие земли вряд ли окажутся безводными пустынями. Остается только найти их. Именно этим и займется запущенный в марте орбитальный телескоп «Кеплер».

Представленная здесь картина обрисовывает лишь самые общие черты процесса рождения планет. Много важных деталей осталось за рамками рассмотрения, еще больше неясно самим астрономам. Но главное, что хотелось подчеркнуть: в последние десятилетия космогония радикально преобразилась. Еще в середине XX века она была почти умозрительной наукой, недалеко ушедшей от эфирных вихрей Декарта, а сейчас представляет собой стремительно развивающуюся ветвь астрофизики, в которой сплетаются самые разные дисциплины: от небесной механики до нанофизики. В космогонических исследованиях используются сложные компьютерные модели, лабораторные эксперименты и, конечно же, наблюдения на самых современных инструментах, которые постоянно приносят новые вопросы и решения. ●

В таких гигантских межзвездных газопылевых комплексах запускается процесс формирования звезд, а с ними и планет