

ТУЗЕМЦЫ И ЭМИГРАНТЫ

С помощью космических миссий ученые смогли реконструировать историю рождения и эволюции планет земной группы в Солнечной системе. **Дэвид Ротери** рассказывает о том, как это могло происходить.

Как в космосе возникает планета? Формируется ли она на месте, «кирпичик к кирпичику», или же ее основные составляющие появляются раньше в просторах Вселенной, а потом объединяются? Возникли ли планеты там, где мы видим их сегодня, или успели побродить по Солнечной системе? Две нынешние миссии NASA помогут ответить на подобные вопросы.

Аппарат «Мессенджер» (Messenger), запущенный в августе 2004 года, достиг Меркурия в 2008 году и вышел на орбиту вокруг этой планеты в марте 2011 года, став первым в ее истории искусственным спутником. Зонд будет изучать геологию, химический состав и магнитное поле Меркурия до марта 2012 года. С помощью «Мессенджера» ученые уже получили данные о Меркурии, которые будут полезны при изучении других планет земной группы.

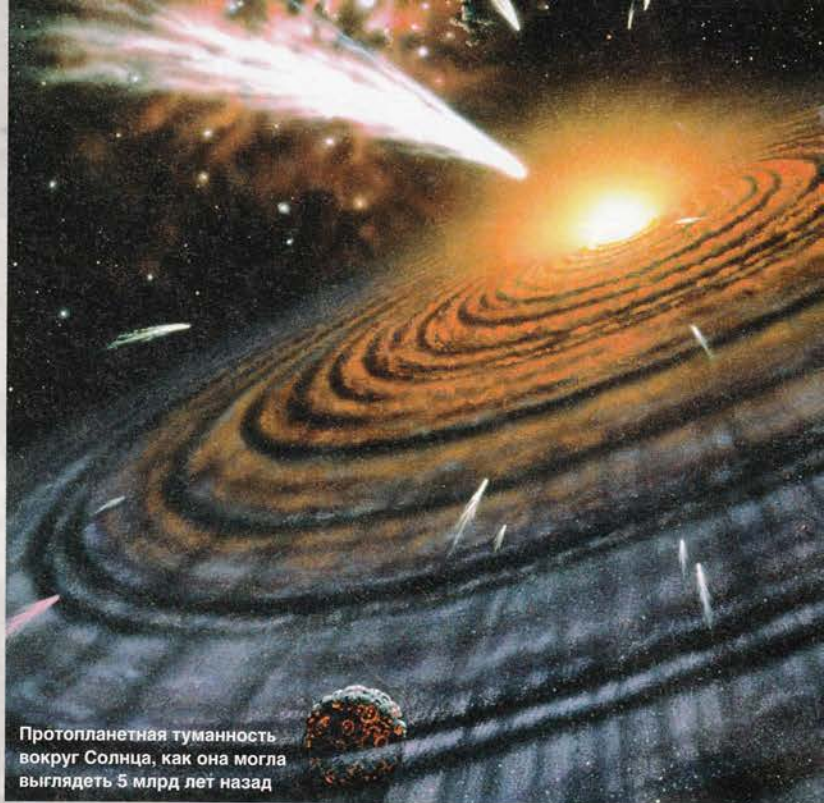
В окрестностях Земли будет работать миссия GRAIL, запущенная в сентябре 2011 года. В ней участвуют два одинаковых орбитальных аппарата (GRAIL A и B), которые составят карту гравитационного поля Луны с беспрецедентной точностью. Зонды-близнецы начнут выполнять свою 80-суточную миссию в марте 2012 года. Собранные ими данные могут помочь пролить свет на раннюю историю Земли и ее спутника, выяснить, в частности, были ли когда-то у нашей планеты две луны. ▶



Основные законы формирования планет установлены достаточно хорошо, по крайней мере для планет с твердой поверхностью, таких как наша Земля. Звезда рождается, когда гравитация приводит к коллапсу части газа и пыли межзвездного облака. Медленное вращение, унаследованное от момента коллапса, постепенно убыстряется по мере стягивания облака к центру, и угловой момент на его внешних краях создает диск вокруг новорожденной центральной звезды.

Газопылевой диск, который сформировался вокруг нашего Солнца, стал инкубатором, где возникли планеты. Первоначально очень горячее вещество облака начало конденсироваться в твердые частицы в окрестностях Солнца, при этом всё больше льда скапливалось в отдаленных его областях. Частицы, которые формировались путем конденсации, слипались, сталкиваясь между собой, и спустя миллионы лет самые большие тела — планетезимали — достигли размеров порядка 10 км. С этого момента их гравитация стала достаточно сильной, чтобы значительно влиять на орбиты друг друга. В результате столкновения, которые приводили к слиянию этих крупных тел, становились всё более частыми и сильными.

В конечном счете осталось только четыре планеты с твердой поверхностью: Меркурий, Венера, Земля и Марс



Протопланетная туманность вокруг Солнца, как она могла выглядеть 5 млрд лет назад

Начался быстрый рост планетезималей, в ходе которого самые крупные из них росли значительно быстрее конкурентов. Этот процесс продолжался до тех пор, пока во внутренней части Солнечной системы (где сейчас находятся планеты земной группы) не остались десятки или сотни тел с массами около 10% от массы современных планет.

Ученые называют такие объекты «эмбрионами планет». Столкновения между крупнейшими приводили к высвобождению такого количества энергии, что недра плавилась, в результате чего железо и другие тяжелые фракции погружались в глубину, формируя ядро, в то время как менее плотное вещество собиралось у поверхности.

КАРТИРОВАНИЕ ЛУНЫ

Зонды GRAIL измеряют гравитацию, чтобы выяснить, как Луна устроена внутри и снаружи

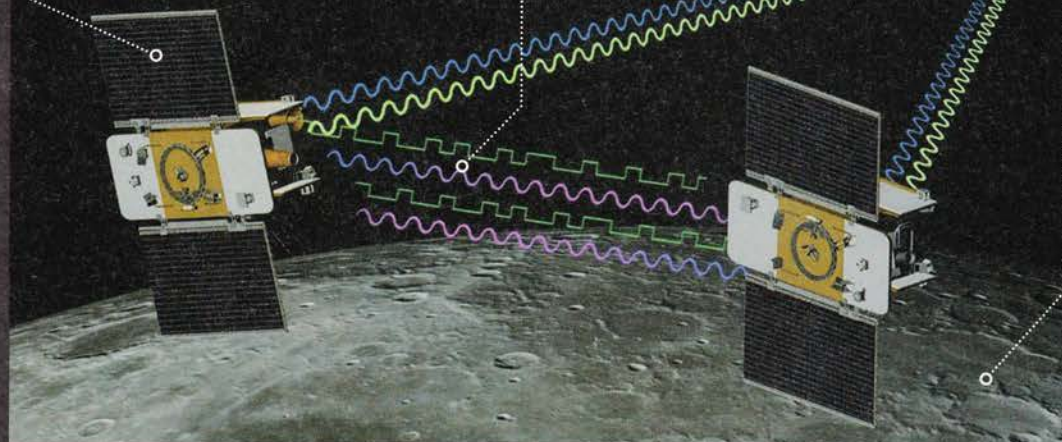
Два космических аппарата размером со стиральную машину — GRAIL A и B — будут вращаться на орбите высотой около 50 км над лунной поверхностью, держась на расстоянии около 200 км друг от друга.

Различия в плотности недр Луны ведут к различиям в гравитационном поле, которые влияют на орбиту аппаратов и на дистанцию между ними.

Микроволновая связь между двумя зондами позволит определять изменения расстояния между ними с точностью до сотых долей миллиметра. На основании этих данных можно будет составить карту гравитационного поля. Поскольку дистанцию между аппаратами не надо измерять с Земли, обратная сторона может быть изучена не хуже, чем видимая.

Карта гравитационного поля Луны будет в сто раз точнее той, что сейчас есть для видимой ее стороны, а для обратной — точнее в тысячу раз.

В ходе картографирования аппараты могут зафиксировать подповерхностные геологические структуры размером в 30 км и получить данные о недрах Луны, в том числе определить, имеет ли Луна ядро или нет.





частью океана магмы, который окружает новый шар.

Плотность Луны настолько мала, что наш спутник не может иметь большое ядро. Признаки лунотрясений, зафиксированные приборами, оставленными в лунном грунте во время миссий «Аполлонов», свидетельствуют, что лунное ядро не больше 700 км в диаметре, а возможно, и значительно меньше.

Если Луна сформировалась в результате мегаимпакта, то она могла расти благодаря аккреции — слипанию орбитальных обломков, возникших почти целиком из мантии ударяющего тела и прото-Земли.

Некоторые ученые полагают, что мегаимпакт породил не одну, а две луны. Согласно современным представлениям, лунная кора сформировалась главным образом из кристаллического вещества низкой плотности, которое плавало поверх океана магмы, возникшего в то время, когда Луна росла из орбитальных обломков. Но лунная кора асимметрична, и до сих пор не было предложено полноценного объяснения, почему она толще на обратной стороне.

Мартин Ютци (Martin Jutzi) из Бернского университета (Швейцария) и Эрик Асфог (Erik Asphaug) из Калифорнийского университета в Санта-Круссе (США), возможно, разгадали эту загадку. Их идея состоит в том, что мегаимпакт на самом деле породил не одну, а две луны, одна из которых была примерно в три раза меньше другой.

Эти два спутника обращались по одной орбите вокруг Земли, меньший спутник двигался на 60° впереди или на 60° позади большего.

Эти луны в конечном счете столкнулись, но с относительно небольшой скоростью — 2 км/с (при том, что большинство столкновений в Солнечной системе происходит на скорости в десятки километров в секунду). Столкновение не вызвало глобального плавления — меньшее тело просто размазало по одной стороне большего,

ТАИНСТВЕННЫЙ МЕРКУРИЙ

Сюрпризы с поверхности

На снимках, сделанных «Мессенджером», ученые обнаружили необычные геологические образования. Первое сближение с Меркурием показало голубоватые пятна на дне некоторых ударных кратеров. Более детальные снимки с орбиты искусственного спутника показали, что эти пятна изрыты впадинами неправильной формы.

Что было удалено с поверхности, чтобы создать эти углубления? Чтобы превратиться в пар из твердого состояния (под жаром близкого Солнца или под воздействием микрометеоритной бомбардировки), вещество должно быть летучим. Сера — очевидный кандидат, но тогда пятна должны были иметь желтый или красный оттенок. Их собираются исследовать с помощью европейского зонда BepiColombo, который выйдет на орбиту вокруг Меркурия в 2020 году.

Возможно, присутствие летучих веществ на Меркурии объясняется тем, что планета сформировалась за пределами орбиты Земли, а затем мигрировала ближе к Солнцу. Но как она могла сделать это, не столкнувшись ни с Землей, ни с Венерой?



Дифференциация на богатое железом ядро и каменистую мантию привело также к формированию (благодаря вулканическому или другим процессам) твердой коры, которая отличается по составу от подстилающей ее мантии.

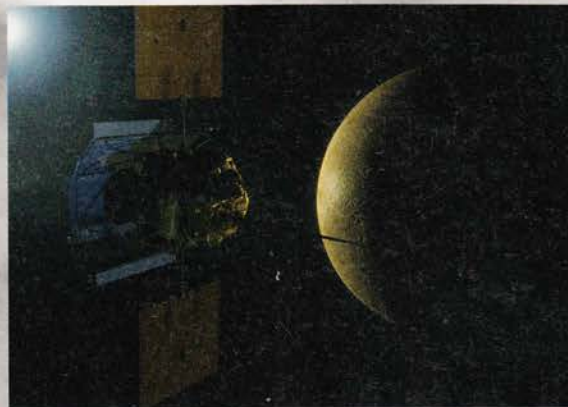
Эмбрионы планет в течение последующих миллионов лет продолжали сталкиваться в ходе серии так называемых мегаимпактов (масштабных столкновений). Каждое столкновение могло приводить к выделению такого количества энергии, что большая часть объема сталкивающихся тел расплавлялась, а относительно небольшие тела просто размазывались по поверхности крупных собратьев.

В конечном счете осталось только четыре планеты с твердой поверхностью — Меркурий, Венера, Земля и Марс. Земля примечательна тем, что последнее гигантское столкновение в процессе ее роста, видимо, было скользким. Оно выбило на орбиту вокруг Земли большое количество вещества, из которого позже сформировалась Луна.

Нанести удар

Проект картирования гравитационного поля Луны с помощью зондов GRAIL может раскрыть важные детали процесса этого столкновения в целом, а также позволит узнать больше о ядре Луны и асимметрии ее коры, которая толще на обратной стороне Луны и тоньше — на видимой.

Когда два планетных эмбриона сталкиваются, богатое железом ядро ударяющего тела обычно настолько глубоко проникает в мантию своей мишени, что ядра сливаются в одно. Мантия ударяющего тела становится



«Мессенджер» вышел на орбиту Меркурия в марте 2011 года

в результате чего кора на той стороне Луны, которую мы называем обратной, стала значительно толще.

Гравитационная карта, которую могут создать зонды GRAIL, способна представить аргументы в пользу теории двух лун, хотя еще лучше было бы получить образцы вещества с обратной стороны Луны, чтобы проверить, отличается ли их состав и возраст от того, что мы обнаружили на видимой стороне.

Планеты-путешественники

Данные, собранные зондом «Мессенджер», помогут проверить другую теорию, которая гласит, что планеты мигрировали и попали на свои нынешние орбиты откуда-то из других областей Солнечной системы.

Миграция, по мнению ученых, была особенно сильно выражена ▶

ГАЗОВЫЕ ГИГАНТЫ

создают проблемы

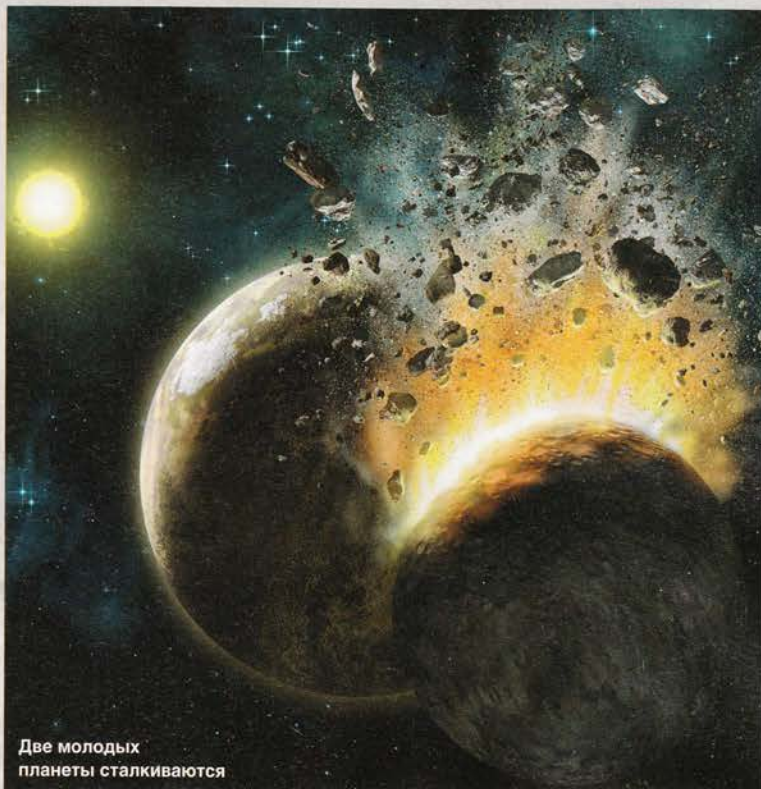


Когда-то считалось, что процесс формирования планет шел значительно медленнее во внешних областях Солнечной системы. Это означало, что рост газовых гигантов закончился значительно позже, чем сформировались Меркурий, Венера, Земля и Марс. Проведенное же в последнее время компьютерное моделирование позволило предположить, что на самом деле газовые гиганты могли образоваться первыми.

Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун значительно тяжелее планет земной группы — они формировались вдали от солнечного жара, где водяной и метановый лёд, а также угарный газ (CO), аммиак и азот могли конденсироваться из протопланетной туманности, дополняя каменные компоненты планет. Юпитер и Сатурн в итоге стали достаточно массивными, чтобы поглотить огромное количество водорода и гелия из остатков туманности. Юпитер, скорее всего, потерял свой угловой момент под действием газовых остатков протопланетной туманности, что заставило его двигаться по спирали во внутренние области Солнечной системы.

Сатурн, Уран и Нептун, напротив, при взаимодействии с ледяными планетезималями направляли их во внутренние области системы, а сами выталкивались вовне. Так расчищалась от ледяных обломков зона до современной орбиты Нептуна. По ряду компьютерных моделей, этот длившийся около миллиарда лет процесс даже заставил Уран и Нептун поменяться местами.

Радиометрическая датировка лунных минералов показала, что лунные «материки» — светлые и наиболее старые участки поверхности — подвергались мощной метеоритной бомбардировке, завершившейся около 3,9 млрд лет назад и известной как «поздняя тяжелая бомбардировка» (или лунный катаклизм). Именно она создала большую часть кратеров на поверхности Луны, — с тех пор мощные удары метеоритов стали значительно более редкими. Похоже, что крещендо поздней тяжелой бомбардировки было вызвано миграцией Сатурна, Урана и Нептуна во внешние области, что приводило к вталкиванию вовнутрь ледяных планетезималей.



Две молодых планеты сталкиваются

► до того, как окончательно рассеялся газ, оставшийся в Солнечной системе от первоначального газопылевого облака. Юпитер наверняка потерял часть своей энергии из-за газового диска, который заставил его двигаться по спирали к центру планетной системы в течение нескольких миллионов лет. За последние 20 лет были открыты многочисленные экзопланеты юпитерианских размеров, которые обращаются намного ближе к своим звездам, чем то расстояние, на котором они могли сформироваться (см. статью «Экзопланеты» на стр. 50). Это предполагает возможность значительных миграций в сторону внутренних областей планетной системы. Данные, собранные «Мессенджером» в процессе исследования Меркурия, свидетельствуют, что планеты земной группы также могут мигрировать.

Высокая плотность Меркурия означает, что он должен иметь очень большое ядро. Первый космический аппарат, сблизившийся с Меркурием (в 1973 году), — «Маринер-10» (Mariner 10) — обнаружил, что планета обладает магнитным полем, которое может генерироваться только потоками электропроводящей жидкости в его недрах. Это означает, что хотя бы часть его ядра находится в расплавленном состоянии.

Большое ядро пророчески объясняет так: один или несколько мегаимпактов содрали большую часть веще-

ства мантии, которое затем не смогло собраться на старом месте. Но тогда вещество Меркурия должно быть обеднено летучими элементами.

Поэтому данные, собранные «Мессенджером», вызвали настоящее смятение среди ученых. Исследование, проведенное доктором Шоном Соломоном (Sean Solomon) из Института Карнеги (США) с помощью рентгеновского и гамма-спектрометра на борту аппарата, показало, что поверхность Меркурия богата серой и калием — летучими элементами. Одно из объяснений этого факта может заключаться в том, что Меркурий мигрировал на нынешнюю орбиту из другой области, где он сформировался. Состав планеты с большой долей летучих элементов показывает, что она вряд ли появилась по соседству с Солнцем, где находится сейчас. Снимки с орбиты продемонстрировали странные пятна на дне ударных кратеров (см. врезку «Таинственный Меркурий»).

Загадки состава поверхности Меркурия и двух лун у Земли показывают, что мы еще многое узнаем о планетах земной группы. GRAIL и «Мессенджер» помогают разрешить старые проблемы эволюции Солнечной системы, но они также поднимают и новые вопросы. ■

Доктор Дэвид Ротери (David Rothery) — планетолог из Открытого университета (Великобритания)