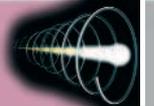


СОДЕРЖАНИЕ

Введение..... 7

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

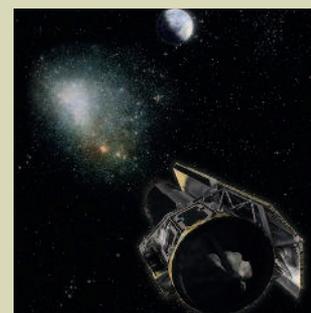
Солнечная система.....	8
Размеры Солнечной системы	10
Орбиты планет.....	12
Рождение внутренних планет.....	14
Рождение газовых гигантов.....	16
Происхождение атмосфер	18
Столкновения в Солнечной системе	20
Планетные кольца	22
Вода в Солнечной системе.....	24
Солнце	26
Вращение Солнца.....	28
Солнечные затмения.....	30
Солнечные пятна.....	32
Солнечные вспышки	34
Солнечный ветер	36
Гелиосфера.....	38
Меркурий	40
Поверхность Меркурия	42
Венера	44
Поверхность Венеры.....	46
Геология Венеры.....	48
Атмосфера Венеры.....	50
Земля	52
Внутри Земли	54
Ударные кратеры Земли	56
Приливы	58
Полярные сияния	60
Луна.....	62
Фазы Луны.....	64
Образование Луны.....	66
Вода на Луне.....	68
Марс	70
Поверхность Марса	72
Геология Марса	74
Долины Маринер	76
Марсианская атмосфера	78
Вода на Марсе	80

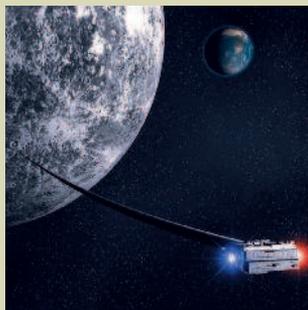
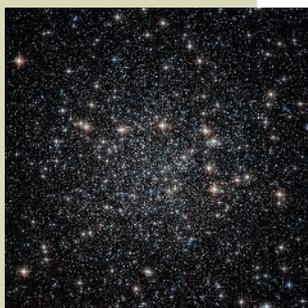
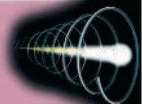


Юпитер.....	82
Спутники Юпитера.....	84
Сатурн.....	86
Атмосфера Сатурна.....	88
Кольца Сатурна.....	90
Спутники Сатурна.....	92
Уран.....	94
Атмосфера Урана.....	96
Кольца Урана.....	98
Нептун.....	100
Кольца Нептуна.....	102
Тритон.....	104
Плутон и Харон.....	106
Пояс Койпера.....	108
Пояс астероидов.....	110
Астероиды-убийцы.....	112
Кометы.....	114
След в истории.....	116
Метеоры.....	118
Метеориты.....	120

ЗВЕЗДЫ НА НЕБЕ

Координаты звёзд.....	122
Шкала звёздных величин.....	124
Послания в звёздном свете.....	126
Классификация звёзд.....	128
Расстояния между звёздами.....	130
Как взвесить звезду.....	132
Рождение звезды.....	134
Коричневые карлики.....	136
Главная последовательность.....	138
Красные гиганты.....	140
Голубые сверхгиганты.....	142
Планетарные туманности.....	144
Белые и чёрные карлики.....	146
Сверхновые звёзды.....	148
Нейтронные звёзды.....	150
Пульсары.....	152
Чёрные дыры.....	154
Межзвёздная материя.....	156
Рассеянные звёздные скопления.....	158
Шаровые скопления.....	160





НАША ГАЛАКТИКА

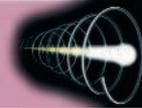
Млечный Путь	162
Центр галактики	164
Классификация галактик	166
Магеллановы Облака	168
Туманность Андромеды	170
Спиральные галактики	172
Эллиптические галактики	174
Неправильные галактики	176
Активные галактики	178
Квазары	180
Скопления галактик	182
Масштабы Вселенной	184

ФИЗИКА ВСЕЛЕННОЙ

Четыре взаимодействия	186
Материя и энергия	188
Элементы	190
Электромагнитное излучение	192
Квантовая теория	194
Специальная теория относительности	196
Общая теория относительности	198

ВСЕЛЕННАЯ

Гравитация и Вселенная	200
Тёмная материя	202
Расширяющаяся Вселенная	204
Большой взрыв	206
Юная Вселенная	208
Инфляционная модель Вселенной	210
Нуклеосинтез	212
Рождение галактик	214
Первые звёзды	216
Гибель Вселенной	218
Алфавитный указатель	220



ВВЕДЕНИЕ

Звёздное небо! Оно сопровождает человечество всю его историю. Это наше окно во Вселенную. Этот огромный, разнообразный и, может показаться, непонятный мир. Столетиями, вглядываясь в ночное небо и размышляя над движением и изменчивостью небесных тел, человек открывал для себя нашу Вселенную. Сначала ближайшие планеты и нашу звезду – Солнце. Затем другие солнца (то есть звёзды), другие планеты. Нашу Галактику и её соседей и, наконец, всю Вселенную как единую, невероятных размеров, систему.

Эта книга – атлас – проведёт вас по тому же пути, которым следовало человечество, раскрывая перед вами всё более далёкие и необычные уголки Вселенной. Из атласа вы узнаете о том, как устроена Солнечная система и как её изучают. Что находится внутри Солнца, чем оно отличается от других звёзд и как закончит свой жизненный путь. Познакомьтесь со звёздным небом и зоопарком звёзд Млечного Пути. Узнаете, каким увидят Млечный Путь будущие космические путешественники, которым впервые доведётся покинуть просторы нашей Галактики. А также познакомьтесь с современным взглядом на рождение и развитие Вселенной, на её будущее.

Разумеется, несколько сотен страниц – это очень мало, для того чтобы на них уместить всё знание о Вселенной, полученное учёными за последние столетия. Наше понимание космоса расширяется с каждым днём, и, даже пока вы читаете это предисловие, отдельные строки этой книги становятся историей. Однако сила современной науки состоит в том, что очень многие фундаментальные представления установлены настолько хорошо и уверенно, что они не меняются уже десятилетиями и вряд ли изменятся. Авторы статей этого атласа постарались собрать именно такие факты, которые они считают самыми главными в нашей астрономической картине мира.

Эту книгу не обязательно читать последовательно, но можно ею пользоваться как краткой энциклопедией. Отсутствие математических формул, быть может, лишает её строгости, но зато добавляет дружелюбности для тех, кто живой язык предпочитает математическому. Хорошего вам путешествия по Вселенной!

Антон Бирюков, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории космических проектов Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга





ПУТЕШЕСТВИЕ ПО СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

Солнце – единственная звезда нашей планетной системы. Это уже немного необычно – ведь большинство звёзд в нашей галактике существуют парами или даже большими группами. А орбиты планет в таких системах (если они там есть) имеют очень сложную форму.

Солнце расположено в центре нашей системы. Его «единственность» может быть результатом его происхождения из газового облака умеренных размеров. Из того же облака сформировались и планеты. Ближе всех к Солнцу находятся четыре планеты земной группы, составляющие в поперечнике не более десятой части диаметра Юпитера. Среди них – Земля, единственная обитаемая планета.

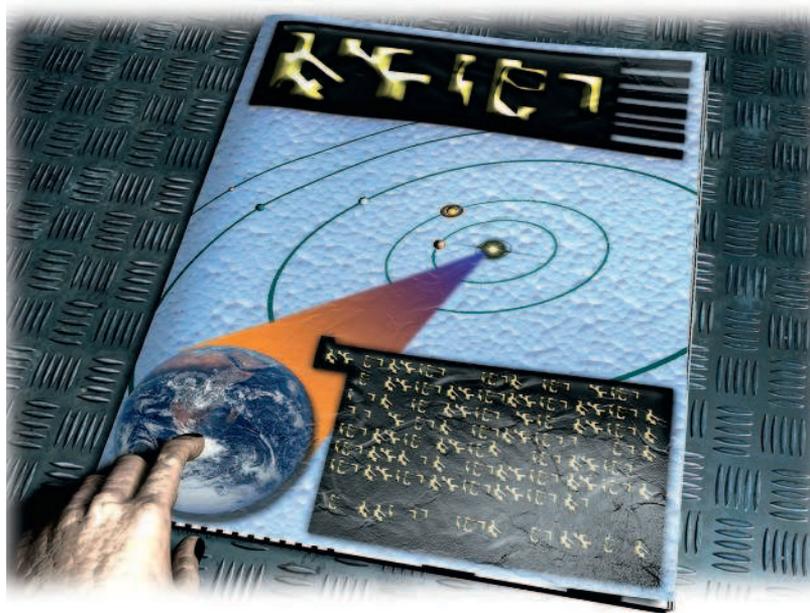
Далее, между орбитами Марса и Юпитера сосредоточились астероиды, небольшие тела, которым мощная гравитация Юпитера не позволила собраться в ещё одну сравнительно крупную планету. Юпитер – самый большой газовый гигант и вообще крупнейшая планета нашей системы. У газовых гигантов нет твёрдой поверхности. Они целиком состоят из собственной атмосферы.

За последней большой планетой – ещё одним газовым гигантом Нептуном – расположился пояс Койпера, родина многочисленных маленьких ледяных миров. Включая и Плутон, признанный в 2006 г. карликовой планетой, вместе с ещё 4 аналогичными телами.

А в наиболее удалённой области Солнечной системы находится облако Оорта. Это сферическое облако, которое медленно движется с орбитальными периодами в миллионы лет.

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Сегодня в Солнечной системе известно 8 больших планет. Их разделяют на два типа: первый, планеты земной группы с твёрдой поверхностью (иногда их называют каменными), орбиты которых располагаются близко к Солнцу, а наша Земля является наибольшей из них, и второй, газовые гиганты, такие, как Юпитер, имеющие более удалённые орбиты. Многие планеты имеют спутники (или луны), а газовые гиганты окружены ещё и кольцами. Пояс астероидов между Марсом и Юпитером отделяет планеты земной группы от гигантов. За орбитой Нептуна начинается пояс Койпера – область маленьких ледяных миров, из которых наиболее известным является Плутон. Некоторые кометы зарождаются именно здесь, а другие – намного дальше, в облаке Оорта.



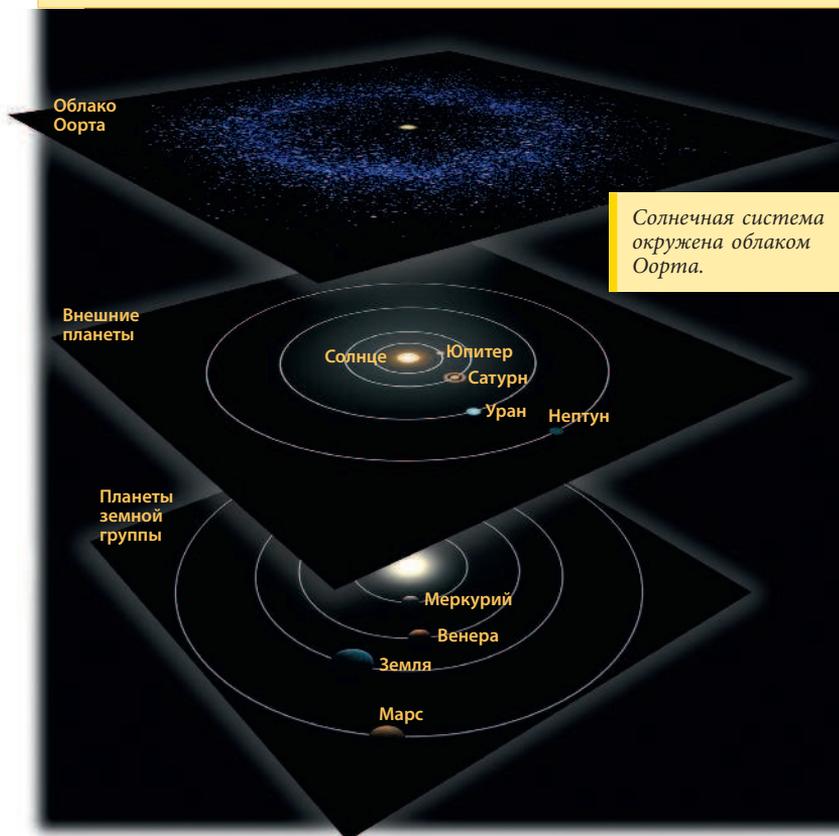
СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА В ЧИСЛАХ

Параметр	Величина
Возраст	4,6 млрд лет
Диаметр	30 трлн км (почти 3 световых года)*
Диаметр области с большими планетами	4,5 млрд км
Число известных больших планет	8
Число спутников планет	205 (на 2020 г.)
Число планет с формами жизни	1
Самая крупная планета	Юпитер (в 11 раз больше Земли)
Самая маленькая карликовая планета	Церера – с диаметром около $\frac{1}{13}$ диаметра Земли
Планета с самым быстрым вращением	Юпитер (9 ч 55 мин 30 с)

* Предполагаемый диаметр внешней границы облака Оорта.



ПУТЕШЕСТВИЕ К ЦЕНТРУ СИСТЕМЫ



ОБЛАКО ООРТА

В облаке Оорта рыскают триллионы будущих комет. Имея очень вытянутые орбиты и периоды обращения в десятки и сотни тысяч лет, они становятся активными – и видимыми с Земли, – когда оказываются во внутренних областях Солнечной системы.



САМЫЙ ДАЛЁКИЙ

Не так давно в созвездии Тельца было обнаружено одно из самых далёких известных нам тел в Солнечной системе. Это транснептуновый объект 2018 VG18 (или Farout, то есть «очень далёкий»), расположен в 19 млрд км от Солнца – в три раза дальше Плутона. Это ледяное тело диаметром около 1000 км.



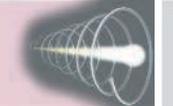
ЦЕНТР

Во внутренней части Солнечной системы располагаются планеты земного типа: Меркурий, Венера, Земля, Марс. Земля и Марс расположены в так называемой «зоне обитаемости», позволяющей существовать на них жидкой воде. Но тонкая атмосфера Марса не позволила существовать жидкой воде на постоянной основе.

ОДНОЙ БОЛЬШЕ ИЛИ МЕНЬШЕ?

Ещё не так давно казалось, что Солнечная система устроена довольно просто и её составные части образуют чёткую иерархию: центральная звезда, девять планет, движущихся по давно устоявшимся орбитам (Плутон тогда ещё считался планетой), сотня мёртвых лун, редкие кометы и пояс астероидов. И казалось, что за орбитой Плутона наша система заканчивается. Но за последние десятилетия современная наука сильно поменяла это упрощённое представление. Так, оказалось, что луны могут оказаться больше самих планет, а рой комет может растянуться на триллионы километров. В 2005 г. астрономы объявили об открытии сразу двух объектов из пояса Койпера, которые соперничают в размерах с Плутоном. Их потом назовут Хаумеа (на фото внизу) и Эрида. Причём афелий (самая дальняя точка орбиты) последней расположен вдвое дальше от Солнца, чем афелий Плутона. Данное открытие спровоцировало споры о количестве планет в Солнечной системе. Девять, десять или одиннадцать? В результате учёные пришли к общему мнению, что Плутон, Эрида, Хаумеа, а также ещё два тела нашей системы – это карликовые планеты.





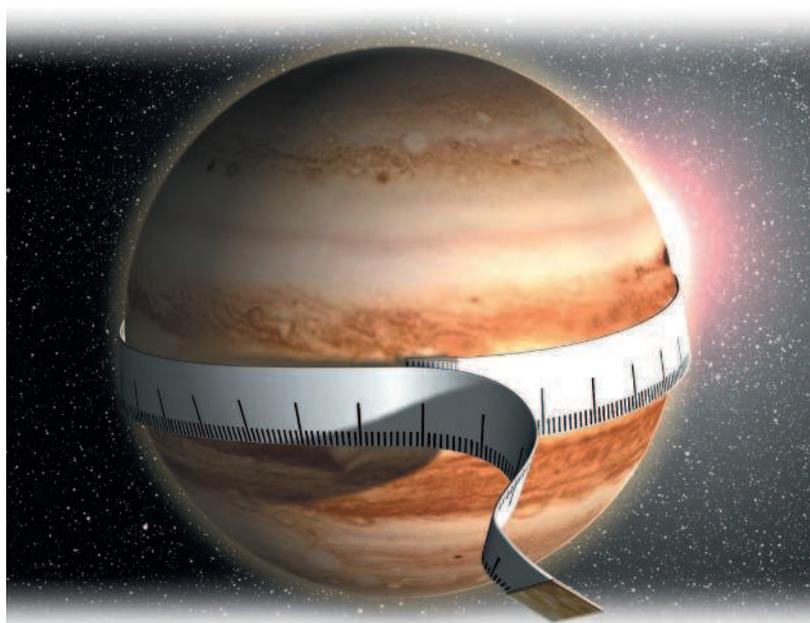
РАЗМЕР ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ

Разум современного человека может с трудом постичь гигантские расстояния и размеры Вселенной. Даже наша Земля кажется нам необъятной. Однако в масштабах Солнечной системы все планеты и само Солнце, раскалённый плазменный шар, составляющий в диаметре около 1,4 млн км, представляют собой лишь крошечные пятнышки.

Если мы представим, что Солнечная система уменьшена в 13 млрд раз, то при таком масштабе Солнце уменьшается до размеров апельсина. А Земля становится булавочной головкой, расположенной от него на расстоянии около 11,5 м, в то время как Луна, размером меньше песчинки, вращается вокруг своей родительской планеты на расстоянии всего 28 мм. Далее, приблизительно в 60 м от нашего импровизированного «апельсина» находится гигантская планета Юпитер, которая в таком масштабе не больше горошины. Самые крупные спутники Юпитера могли бы с лёгкостью пройти через игольное ушко – и те, что помельче, оказываются такими крохотными, что почти незаметны невооружённым глазом. Далеко за Юпитером вращается кольцо едва заметных частичек пыли, отстоящее от «Солнца» примерно на полкилометра. Это пояс Койпера, который простирается до расстояния в 50 раз дальше от Солнца, чем орбита Земли. Добраться до него с автомобильной скоростью 96 км/ч без остановки можно лишь за 9000 лет...

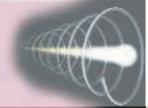
РАЗМЕРЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Солнце – это пылающий шар, заключающий в себе 99% всего вещества в Солнечной системе. Но в масштабах всей системы Солнце является почти таким же незначительным, как и планеты. Расстояние от Солнца до планеты Нептун в самой удалённой точке её орбиты составляет около 4,5 млрд км. Если мысленно уменьшить эту орбиту до размеров теннисного корта, то Солнце выглядело бы на нём малозаметной точкой. Но даже за пределами орбиты Нептуна Солнечная система продолжается – поясом Койпера и облаком Оорта, растянувшимся на треть расстояния до ближайшей звезды.

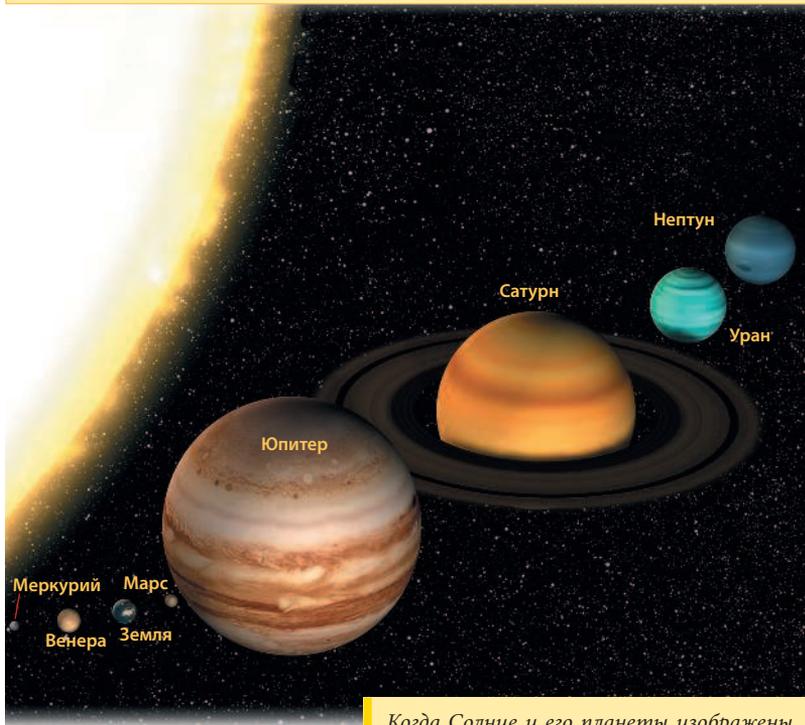


ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ

Объект	Диаметр	Размер по сравнению с предыдущим объектом
Частица с кольца Юпитера	0,001 мм	—
Частица с кольца Сатурна	10 см	в 100 000 раз больше
Типичный астероид	100 м	в 10 раз больше
Наибольший известный кратер (на Марсе)	2500 км	в 25 000 раз больше
Наибольшая известная луна (Ганимед)	5250 км	в 2,1 раза больше
Земля	12 760 км	в 2,4 раза больше
Наибольшая известная планета (Юпитер)	143 000 км	в 11,2 раза больше
Размах колец Сатурна	337 962 км	в 2,4 раза больше
Солнце	1,4 млн км	в 4 раза больше
Орбита внутренней планеты (Меркурий)	58 млн км	в 42 раза больше



СОЛНЦЕ И ЕГО СЕМЕЙСТВО



Когда Солнце и его планеты изображены вместе в сопоставимом масштабе, самый маленький Меркурий кажется совсем крошечным. При этом на такой площади умещается лишь кусочек огромного солнечного диска диаметром в 1,4 млн км.



РАЗНООБРАЗИЕ ЛУН

На снимке, полученном с аппарата «Вояджер-2» в 1979 г., спутник Ио проходит над Южным полушарием Юпитера. Размеры спутников планет в Солнечной системе различны. Самые маленькие луны не превышают в поперечнике нескольких километров. Но два самых крупных спутника – Ганимед у Юпитера и Титан у Сатурна – больше планеты Меркурий.



БЛЕДНО-ГОЛУБАЯ ТОЧКА

Когда космическая станция «Вояджер-1» пересекла орбиту Нептуна, она развернулась назад, к Солнечной системе для того, чтобы сделать последний снимок нашей планеты. Голубая точка в центре кадра, залитая лучом света (на самом деле блика от аппаратуры «Вояджера»), – это наша Земля, со всеми нами. Этот образ вдохновил астронома и популяризатора науки Карла Сагана написать знаменитую книгу «Голубая точка. Космическое будущее человечества» (Pale Blue Dot. A Vision of the Human Future in Space).

ОКРАИНА

Солнечное семейство простирается намного дальше, чем даже карликовый Плутон, считавшийся долгое время границей «планетной зоны». Окружая Солнце на расстоянии около 15 трлн км – полутора световых лет и одной трети расстояния до ближайшей звезды, расположено так называемое облако Оорта (его внешняя часть – приближительная граница Солнечной системы). Названное в честь голландского астрофизика Яна Хендрика Оорта, эта небесная структура – обширный сферический рой ледяных обломков, оставшихся после формирования Солнечной системы более 4,5 млрд лет назад. Объекты облака Оорта настолько далеки от Солнца, что влияние его гравитации здесь невелико. Время от времени эти объекты сходят со своих хрупких орбит и отправляются во внутреннюю систему, где медленно испаряются, разогреваемые Солнцем, и появляются на нашем небе как кометы. На необъятных просторах Солнечной системы есть тела всевозможных размеров – от небольших крупиц до планет. Среди мельчайших вращающихся тел есть пылинки, образующие кольца Юпитера, при этом каждая такая частица составляет в поперечнике около 0,001 мм. Это невероятно мало по сравнению с облаком Оорта, которое, выражаясь научным языком, на 22 порядка крупнее. Вообще, «порядок величины» просто означает «в 10 раз больше», т.е. 22 порядка – это 10^{22} , единица в сопровождении 22 нулей, или ошеломляющие 10 миллиардов триллионов.



ВОКРУГ СОЛНЦА

После своей смерти в 1543 г. польский астроном Николай Коперник оставил весьма значимое наследие. В книге «О вращении небесных тел» он объявил, что не Земля находится в центре Вселенной, как до сих пор считали большинство учёных и Церковь. Нет, Земля, оказывается, и сама вращается вокруг Солнца – точно так же, как и все остальные планеты. Но Коперник полагал, что они движутся по правильным окружностям, центры которых сами движутся по окружностям, и так далее. И даже так его теория не описывала полностью то, что реально наблюдалось в ночном небе. Серьёзной проблемой был Марс, положение которого никак не удавалось предсказать точно. Что же не так с Марсом?

Ответ на этот вопрос получил немецкий астроном Иоганн Кеплер. В общих чертах Кеплер был согласен с теорией Коперника, но усматривал потребность в корректировке. Он отправился работать к датскому астроному Тихо Браге. За несколько десятилетий Браге и его помощники получили огромное количество весьма точных измерений положения Марса на небе. Взяв за основу эти данные – полученные без телескопов, – Кеплер вскоре понял, что Марс не может вращаться вокруг Солнца по правильному кругу. Методом проб и ошибок он рассчитал, что его перемещение можно объяснить только в том случае, если орбита планеты представляет собой эллипс, разновидность удлинённого круга. Все точки на круге находятся на одном и том же удалении от центра, а у эллипса есть два «центра», или фокуса. И в любой точке эллипса сумма расстояний до каждого из фокусов остается неизменной.

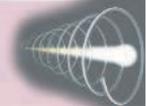
ОРБИТЫ ПЛАНЕТ

Не так-то просто оказалось объяснить движение планет в небе. Некоторые следуют по простым, легко предсказуемым траекториям, другие перемещаются гораздо сложнее, и кажется, будто они едва ли не наугад изменяют направление своего движения. За долгие столетия многие лучшие умы человечества попытались найти этому объяснение. Но до XVI–XVII вв., когда проявились гении Николая Коперника и Иоганна Кеплера, все идеи не выглядели стройными. Коперник понял, что Земля вращается вокруг Солнца. А Кеплер – что она вращается по тем же законам, что и остальные планеты.



ОРБИТЫ ПЛАНЕТ

Планета	Ближайшая точка орбиты (млн км)	Самая удалённая точка орбиты (млн км)	Орбитальная скорость (км/сек)	Период обращения вокруг Солнца
Меркурий	45,9	69,7	47,96	87,97 суток
Венера	107,3	109,0	35,04	224,70 суток
Земля	146,9	151,9	29,77	365,26 суток
Марс	207,6	249,4	24,14	686,98 суток
Юпитер	740,9	815,8	13,05	11,86 года
Сатурн	1347,0	1 506,3	9,66	29,46 года
Уран	2734,3	3 004,6	6,81	84,07 года
Нептун	4456,3	4536,7	5,42	164,82 года



ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ ПЛАНЕТЫ

ВНЕШНИЕ ПЛАНЕТЫ

Четыре планеты за пределами пояса астероидов – это Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.



ВНУТРЕННИЕ ПЛАНЕТЫ

Четыре внутренние планеты – Меркурий, Венера, Земля и Марс – расположены между Солнцем и поясом астероидов. У Венеры самая «круглая» орбита среди всех планет, а у Меркурия – самая вытянутая. У Меркурия также самая сильно наклонённая из всех внутренних планет орбита, 7 градусов к плоскости орбиты Земли (эклиптике).



ИОГАНН КЕПЛЕР

В 1600 г. Иоганн Кеплер стал помощником датского астронома Тихо Браге и закончил таблицы движений планет, которые тот начал составлять раньше. Эти данные и собственный гений Кеплера привели к открытию его собственных законов движения планет, что поставило его в ряд величайших учёных эпохи. Также он опубликовал описание сверхновой звезды – ныне известной как сверхновая Кеплера, – которую обнаружил в 1604 г. в созвездии Змееносца. Позднее он сконструировал один из первых в мире телескопов, а в 1611 г. издал книгу по оптике.



Эта картина показывает, как могло выглядеть небо Земли миллиарды лет назад. Большая красная планета – это Юпитер, располагавшийся тогда ближе к Земле. Его гравитация влияла и на орбиту нашей планеты, и на её геологию: мощные приливные силы от Юпитера были в состоянии буквально разломить кору Земли.

ЗАКОНЫ КЕПЛера

Если одна планета вращается по эллипсу, то почему так не могут и остальные? На таком предположении, подкреплённом тщательными наблюдениями, Кеплер предложил три закона планетарного движения. Во-первых, орбиты планет представляют собой эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце. Во-вторых, линия, проведенная от Солнца до движущейся планеты, или радиус-вектор планеты, в равные промежутки времени описывает равновеликие площади. В-третьих, квадрат времени, которое требуется каждой планете, чтобы совершить полный оборот вокруг Солнца, пропорционален кубу его среднего расстояния от Солнца. Согласно второму закону, планета перемещается быстрее всего, когда расположена ближе всего к Солнцу, и медленнее всего, когда находится от него в самой дальней точке. Кеплер обнаружил, что главная управляющая сила действует на планеты нашей системы со стороны Солнца. Физическое обоснование для этой теории движения планет уже после смерти Кеплера дали другие учёные – англичане Роберт Гук и Исаак Ньютон. Объяснение этой силы (гравитации) было дано Альбертом Эйнштейном в начале XX в. Законы Кеплера до сих пор подходят для объяснения движений объектов в космическом пространстве. Но нам известны и поправки к ним, возникающие в общей теории относительности Эйнштейна. И для корректной работы навигационной системы GPS, например, эти поправки существенны.



ГОРЯЧИЙ СТАРТ

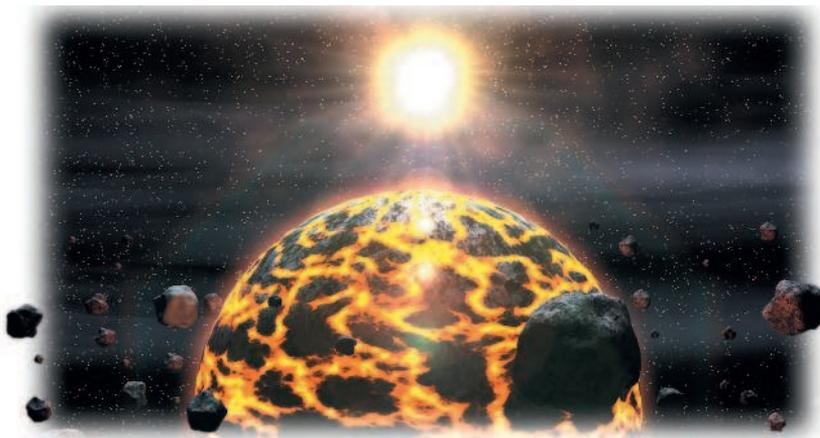
Около 4,6 миллиардов лет назад Земля и все другие планеты представляли собой не более чем смесь газа и пыли. Сырьё, из которого возникли планеты, приняло форму гигантского диска, известного астрономам как солнечная туманность. В результате гравитационного коллапса произошло небольшое (спонтанное) уплотнение вещества газопылевого облака – возникло протосолнце.

В центре солнечной туманности, ближе к протосолнцу, температуры могли превышать 1650°C. Со временем материал диска стал двигаться по спирали к протосолнцу, в результате чего диск становился более разреженным, и его теплу было легче уходить в космическое пространство. Диск начал охлаждаться, а его материал – сгущаться, так что отдельные атомы сгруппировались в крошечные зёрна размером меньше одной двадцатимиллионной сантиметра в поперечнике.

Такое уплотнение стало первым шагом в процессе образования планет. Вдали от протосолнца более холодная среда обусловила образование кристалликов льда из воды, аммиака и метана. Но ближе к протосолнцу конденсироваться могли лишь каменные и металлические частицы. По мере того как сформировавшиеся частицы вращались вокруг протосолнца в одном направлении, некоторые из них начали «приклеиваться» к соседям. Астрономы не могут достоверно объяснить, что вызвало такое «склеивание», но, возможно, причиной послужили электростатические силы. Из-за этого отдельные зёрна, сливаясь со смежными частицами, становились всё больше и больше.

РОЖДЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПЛАНЕТ

Планеты образовались 4,6 млрд лет назад из дискообразного облака газа и пыли, оставшегося от солнечной туманности. Материал в диске стал охлаждаться и уплотняться, сначала сформировались тела размером с гранулу, которые затем выросли в известные нам планеты. Только камень и металлы могли выдержать огромные температуры в непосредственной близости от Солнца, и в структуре внутренних планет – Меркурия, Венеры, Земли и Марса – до сих пор есть соответствующие породы. По-видимому, для начального формирования этих небесных тел понадобилось около 100 млн лет, а потом ещё 700 млн, – чтобы стать теми планетами, которые продолжают вызывать у нас восхищение.



СЛЕДЫ ТВОРЕНИЯ

Некоторые метеориты, известные как хондриты, содержат набор различных минералов. Учёные полагают, что отдельные частицы сохранились почти неизменными с момента возникновения Солнечной системы. Они представляют собой тела размером с гальку, из которых впоследствии сформировались более крупные объекты. По-видимому, содержащиеся в них химические элементы находятся в тех же самых пропорциях, что и в солнечной туманности при рождении Солнечной системы.

СРОКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТ

Событие	Продолжительность
Гравитационный коллапс газового (молекулярного) облака	10–20 млн лет
Конденсация первых «зародышей»	2 тыс. лет
Рост астероидоподобных планетезималей	Несколько тысяч лет
Появление протопланет лунного размера	10–100 тыс. лет
Внутренние четыре планеты достигают половины массы, рост замедляется	10 млн лет
Внутренние планеты достигают современной массы, укрепление коры	100 млн лет
Бомбардировка видоизменяет кору планет	100–800 млн лет
Развитие планет до настоящего времени	3,8 млрд лет



В САМОМ НАЧАЛЕ



Протосолнце – источник сильного солнечного ветра, который помогает расчистить внутреннюю часть системы от обломков.

Планетезимали, которые могут однажды столкнуться с протопланетами.

Небесное тело размером с планету, образовавшееся за счет аккреции из солнечной туманности.

Вид Солнечной системы приблизительно 4,6 млрд лет назад, когда из солнечной туманности начинают формироваться отдельные планеты. На данном этапе возникающие планеты намного меньше тех, которые нам известны сегодня, но несколько небесных тел становятся потом существенно крупнее и доминируют над остальными.



КРАТЕРЫ

На таких безвоздушных небесных телах, как Меркурий и Луна, сильно кратерированные поверхности, на которых до сих пор видны следы этапа тяжёлой бомбардировки Солнечной системы.



АСТЕРОИДЫ

Астероиды – небольшие каменные и металлические тела, главным образом сосредоточенные в пространстве между Марсом и Юпитером. По-видимому, это планетезимали, которые оказались не в состоянии сформировать большую планету.



ЛУННОЕ СТОЛКНОВЕНИЕ

Учёные считают, что Луна возникла вскоре после того, как начала отвердевать Земля. Астрономы подозревают, что с Землёй столкнулась большая протопланета, размером с Марс и, возможно, втрое его тяжелее. В результате удара протопланета превратилась в пар – как и значительная часть земной коры. Обломки столкновения заняли орбиту вокруг Земли, где их часть впоследствии слиплась в привычную нам Луну.

БОМБАРДИРОВКА НАЧИНАЕТСЯ

В течение около 2000 лет внутренние области солнечной туманности кишели бесчисленными частицами размером с гальку. Ещё через несколько тысяч лет эта галька выросла до размеров астероидов, самые крупные из которых достигали нескольких километров в поперечнике. Известные как планетезимали, эти фрагменты к тому времени так увеличились, что росли не только за счёт случайных столкновений с другими, но и потому, что фактически могли притягивать к себе соседей с помощью собственной гравитации. Этот процесс известен как аккреция. С этого момента процесс образования планет пошёл с другой скоростью.

По истечении около 10 млн лет самые внутренние области диска содержали четыре главные протопланеты, которым впоследствии предстояло стать Меркурием, Венерой, Землёй и Марсом. Но на текущий момент эти объекты вобрали в себя большую часть доступных обломков, в результате чего темпы их роста замедлились. Понадобилось, видимо, ещё 100 млн лет, чтобы эти протопланеты удвоили свои массы до современных значений. А впереди ждали бурные времена. В течение приблизительно 800 млн лет – периода, известного астрономам как этап поздней тяжёлой бомбардировки – недавно сформированные планеты по мере своего вращения вокруг Солнца продолжали «подбирать» на своём пути более мелкие обломки. Только после того, как около 3,8 млрд лет назад этот процесс закончился, внутренние планеты стали такими, какими мы их знаем теперь.



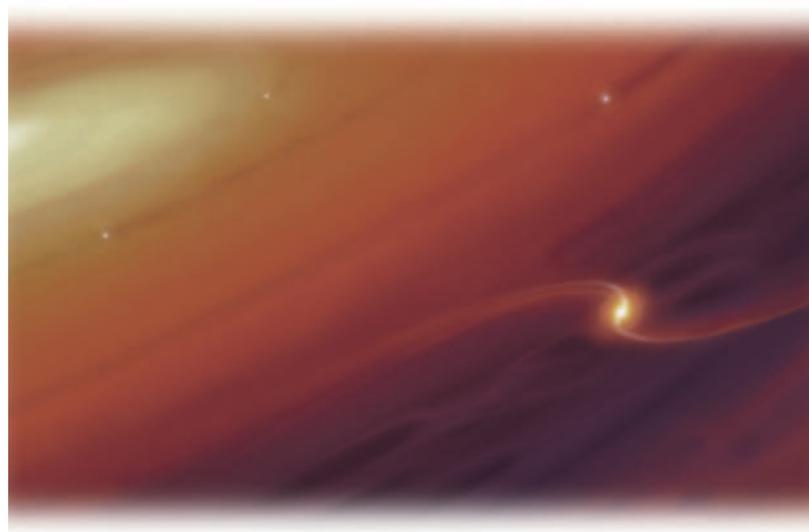
«БОЛЬШИЕ ДЕТКИ»

Вдали от Солнца расположены массивные планеты, состоящие в основном из водорода и гелия. Эти планеты настолько велики, что содержат около 99% совокупной массы всех известных нам тел Солнечной системы (за исключением Солнца). То, что они стали такими большими и так сильно отличаются от внутренних планет, является прямым следствием особенностей процесса зарождения нашей планетной системы.

Приблизительно 4,6–5 млрд лет назад вращающееся облако, состоящее главным образом из водорода и гелия, вместе с водой, льдом и частицами углеродной пыли, начало сжиматься под воздействием собственной гравитации. По мере своего сжатия это облако стало вращаться ещё быстрее. Оно превратилось в диск, в центре которого сформировалось Солнце. На данном этапе Солнце не было настоящей звездой: оно ещё не стало достаточно массивным, чтобы в его ядре начались термоядерные реакции. Оно лишь тускло светилось, как любое тело, сжимающееся под действием собственного тяготения. Внутри диска при столкновении частиц газа и пыли постепенно сформировались более крупные тела: песчинки, камни, астероиды, а затем и небольшие протопланеты. Хотя Солнце было ещё относительно холодным, во внутренних областях системы уже было слишком жарко для образования льда. На данном этапе только камни и металлы могли служить надёжным материалом для образования планет. Когда эти материалы были израсходованы, рост внутренних протопланет прекратился.

РОЖДЕНИЕ ГАЗОВЫХ ГИГАНТОВ

Все планеты формируются за счёт аккреции – слипания вещества в огромном вращающемся диске из пыли и газа. Но в Солнечной системе есть планеты двух различных видов. Четыре внутренние планеты, расположенные ближе к Солнцу, маленькие и каменные. А дальше, там, где царствует холод, планеты формировались за счёт слипания снежинок. Со временем они сделались достаточно большими, чтобы привлечь к себе водород и гелий. Но четыре планеты-гиганта – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун – всё же имеют различия, которые нелегко объяснить.



АНОМАЛИИ

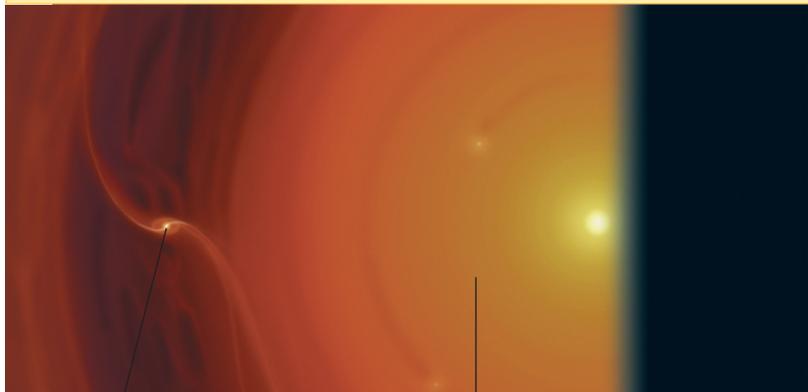
Уран и Нептун намного больше, чем предполагалось в теории. На их далёких орбитах было слишком мало материала, чтобы они могли вырасти до нынешних размеров. Согласно недавним исследованиям, Уран и Нептун формировались намного ближе к Солнцу, вблизи Юпитера. Там они могли расти до тех пор, пока мощное притяжение Юпитера не отбросило их на нынешние, более отдалённые орбиты.

ДРУГИЕ ЗВЁЗДЫ С ПЛАНЕТАМИ – ГАЗОВЫМИ ГИГАНТАМИ

Название звезды	Местоположение (созвездие)	Масса планеты (Юпитер = 1)
51 Пегаса	Пегаса	0,4
Ипсилон Андромеды	Андромеды	0,7
55 Рака	Рака	0,8
Ро Северной Короны	Северной Короны	1,1
16 Лебеда Б	Лебеда	1,6
Йота Часов	Часов	2,2
47 Большой Медведицы	Большой Медведицы	2,3
Тау Волопаса	Волопаса	3,6
14 Геркулеса	Геркулеса	4,7
70 Девы	Девы	7,4



ОТ ПРОТОПЛАНЕТ ДО ГИГАНТОВ



ГАЗОВЫЕ ГИГАНТЫ

На таком удалении от Солнца вокруг ледяных ядер начинают формироваться протопланеты. Вскоре они становятся настолько большими, что за счёт собственной гравитации притягивают к себе лёгкие, стремительные атомы водорода и гелия.

В центре протопланетного диска формируется Солнце. Протозвезда намного крупнее современного Солнца и испускает тусклое сияние за счёт теплоты, выделяемой при гравитационном сжатии.

ВНУТРЕННИЕ ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

Поблизости от протосолнца образование льда невозможно. Но каменные и металлические фрагменты начинают слипаться между собой, формируя внутренние планеты земного типа.



ВОДОРОД

Облако водорода в туманности Лебедя даёт нам некоторое представление о том, как могла выглядеть Солнечная система на раннем этапе своего развития. Водород – безусловно, самый распространённый материал во Вселенной.



ЮПИТЕР

Более чем вдвое тяжелее всех прочих планет, вместе взятых, и в 1300 раз массивнее Земли, Юпитер представляет собой гигантский шар из водорода и гелия, образовавшийся вокруг небольшого твёрдого ядра из камня и льда.



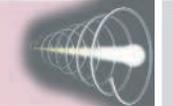
Возможный впечатляющий вид кольцевой системы планеты-гиганта, как если бы она наблюдалась с поверхности её далёкого спутника с полярной орбитой.

«РОДИЛЬНЫЙ ДОМ» для ПЛАНЕТ

Ближе к краям протопланетного диска «родильный дом» для планет работал «без выходных»: здесь формировались планеты-гиганты. Относительно прохладная среда означала, что внешние протопланеты могли расти за счёт накопления не только каменистого материала, но также многочисленных ледяных образований – снежинок, собираемых гравитацией в большие «снежки». Отдалённые протопланеты становились всё более массивными и намного превосходили по размерам Землю. К тому времени, когда протопланеты, которым предстояло стать Юпитером и Сатурном, выросли до 15–20 земных масс, их гравитация стала достаточной, чтобы притянуть к себе большое количество окружающего газа, состоящего из лёгких водорода и гелия.

По истечении 1–10 млн лет «сырьё» в диске стало заканчиваться. Далеко за орбитами Юпитера и Сатурна, поблизости от Урана и Нептуна, сочетание более скудного строительного материала и более длительного периода обращения означало, что эти планеты не могут накопить такую же большую массу, как Юпитер или Сатурн. В результате они остались без мощных водородно-гелиевых атмосфер, как у более близких к Солнцу гигантов, и состоят из разного рода льдов.

Примерно в это же время Солнце уже достаточно разогрелось, чтобы стать настоящей звездой. Очень скоро его нарастающая светимость разметала остатки газообразного материала в протопланетном диске в межзвёздное пространство, и планеты в целом прекратили расти. Результатом всего этого процесса стало возникновение Солнечной системы.



«ЗАПЕРТЫЙ» ГАЗ

При образовании планеты вокруг неё начинает собираться атмосфера. Около 4,6 млрд лет назад из гигантского вращающегося блина, состоящего из пыли и газа, образовалась Солнечная система. Каменные глыбы размером с астероид, названные планетезималиями, подхватывали тонкие газовые оболочки из водорода и гелия. Но во внутренней Солнечной системе первые атмосферы легко рассеивались, потому что гравитация планетезималей была слишком слаба. Формирование планет продолжалось. Планетезимали росли за счёт столкновений и слипаний друг с другом. При ударах каменные породы разогревались, выделяя газ. Этот вторичный газ и сформировал атмосферы вокруг внутренних планет.

Но как камни выделяют газ? В этом они немного схожи с грибами: с них не капает вода, когда вы их сжимаете, но они выпускают много пара во время жарки. Даже твёрдая порода может содержать молекулы воды или углекислого газа, химически привязанные к её минеральной структуре. Когда камень нагревается – в результате столкновений или вулканической деятельности, – его химические связи нарушаются и он выпускает упомянутые молекулы в виде пара. Вторичные газы тяжелее, чем водород и гелий, и они собирались у поверхности. Но к тому времени, когда Солнечная система достигла «совершенности», далеко не у каждой планеты сохранилась атмосфера. При данной температуре существует минимальная масса для планеты с атмосферой, а у Луны и Меркурия эта масса ниже. Газы сравнительно легко преодолевают слабую гравитацию этих маленьких миров.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ АТМОСФЕР

Не у всех планет в Солнечной системе есть атмосфера – оболочка из газов, которая соприкасается с поверхностью планеты. Из каменных планет атмосферы имеются у Венеры, Земли и Марса. Такая атмосфера состоит главным образом из углекислого газа, кислорода, воды и азота в разных пропорциях. Атмосфера может сыграть важнейшую роль в истории планеты, а атмосферные эрозии могут иметь необратимый и губительный характер. На Земле атмосфера помогает защитить и обеспечить жизнь, в то время как на Венере она покрыла поверхность углекислотным «плащом». Но почему возникают такие разные атмосферы?



СОСТАВ АТМОСФЕР

	Процент в общей атмосфере, %			Давление газа (давление атмосферы Земли = 100%), %		
	Венера	Земля	Марс	Венера	Земля	Марс
Углекислый газ	96	0,035	95	8,640	0,035	0,62
Азот	3,5	77	2,7	320	78	0,018
Кислород	—	21	—	—	21	—
Водяной пар	0,01	1	0,006	0,9	1	$3,9 \times 10^{-5}$
Аргон	0,007	0,93	1,6	0,63	0,94	0,01