

## Глава 7. Смена местоположения планет

### 7.1. Общие рассуждения о смене орбит

**Менялось ли положение планет в Солнечной системе?** Раньше считалось и нередко считается до сих пор, что все планеты сформировались приблизительно на тех орбитах, где находятся сейчас. В то же время имеются небезосновательные мнения, согласно которым потребовалось длительное время, чтобы планеты приняли современные орбиты. По мнению В. Г. Сурдина (2012: 62), это произошло около 4 млрд лет назад. То есть первые несколько сотен миллионов лет система планет устанавливалась. Идеи о том, что первоначальные орбиты планет значительно отличались от современных, стали активно разрабатываться в начале этого века. Отсюда вполне резонно высказываются предположения, что в самый ранний свой период Солнечная система была иной. В частности, внешняя часть была гораздо компактнее по размеру, чем сейчас, а пояс Койпера был гораздо ближе к Солнцу (см., например: Brown 2008). Таким образом, согласно этому взгляду, Солнечная система, как и наша Вселенная, расширялась<sup>91</sup>.

Предполагается, что после установления современной системы планет и спутников серьезных изменений уже не происходило. Значительные изменения происходили на самих планетах, в их геологии, климатологии, составе атмосферы и прочем. Как пишут Х. Альвен и Г. Аррениус (1979: 16), самым поразительным результатом исследования этого этапа, который длился около 4 млрд лет, является то, что в продолжение его почти ничего не изменилось (скорее всего, важные изменения все же происходили, но нам пока о них неизвестно).

Точка зрения, что местоположение и орбиты планет Солнечной системы установились далеко не сразу, эволюционно кажется

---

<sup>91</sup> Довольно известна так называемая модель Ниццы, сценарий этой модели предполагает перемещение планет-гигантов из начальной компактной конфигурации в их нынешние положения (см., например: Desch 2007). Основой модели стали сразу три статьи, опубликованные в журнале *Nature* в 2005 г., а разработка модели была начата в обсерватории Лазурного Берега в Ницце (Франция), отсюда и название модели.

намного более интересной, чем идея об изначальной сформированности Солнечной системы. Идея изменения орбит выглядит привлекательнее с эволюционной точки зрения потому, что маловероятно, чтобы система сформировалась сразу готовой. Системы не формируются зрелыми, для обретения зрелости и устойчивости им обычно требуется несколько реконфигураций, в том числе циклов разрушения и нового формирования. Поэтому первичные системы часто выглядят архаично, а более совершенные системы образуются уже как вторичные или третичные. Системы обретают способность к саморегулированию и входят в состояние гомеостаза (или равновесия) далеко не сразу (см.: Гринин 2016a). Поэтому ранняя эпоха формирования (в том числе и в процессе формирования звезд) часто довольно бурная, условно это «эпоха великих переселений»<sup>\*</sup>.

В этом плане не выглядит удивительным мнение некоторых исследователей, считающих, что ранняя эпоха Солнечной системы определялась блуждающими планетами и вызванными ими грандиозными разрушениями (Батыгин и др. 2016: 16), что, конечно, особенно важно для нашей темы. Полагаем, что эти ученые правы, утверждая, что необходимо переписать историю Солнечной системы, включив в нее гораздо больше драмы и хаоса, чем большинство из нас ожидали (Там же: 17). Порядок из хаоса – это чудо самоорганизации и эволюции, несомненно, был одним из главных паттернов ранней Солнечной системы<sup>\*</sup>. Как мы видим, драматизм также характерен для эволюции на всех ее уровнях<sup>\*</sup>.

Современные взгляды свидетельствуют о том, что между протопланетным диском и растущей протопланетой могут существовать весьма интересные взаимоотношения, своего рода обмен энергией. В результате этого новорожденная планета может дрейфовать далеко от места своего рождения. Энергетически это объясняется тем, что после того как планета подросла, может происходить необратимый обмен импульсом и энергией между планетой и диском. Это позволяет молодым планетам отправляться в путешествие по родительскому диску (Там же: 19–20). Таким образом, наряду с описанным выше хаосом, имеется и некоторая протосистемность, которая влияет на будущее устройство. В чем-то она напоминает временную системность переселяющихся животных или племен, которая заменяется затем новой, более организованной системностью.

Но стоит отметить, что установление орбит не всегда связано со сменой местоположения планет. На установление орбит могло влиять взаимодействие с другими телами, в частности и с многочисленными планетезималиями. Ведь всякий раз, когда движение по орбите формирующейся или сформированной планеты сближает ее с другим объектом, этот объект либо притягивается к нему силами гравитации и становится его составной частью, либо отбрасывается прочь в результате изменения своей орбиты. Собственно, тот факт, что растущие планеты начинают расчищать свои орбиты, и служит одним из критериев, дающих право небесному телу называться планетой (Элкинс-Тантон 2017: 98).

Однако по законам механики это отбрасывание планетезималии не может не влиять на орбиту планеты. Впрочем, на местоположение и орбиты планет влияли, помимо разброса планетезималей, и различные другие факторы, как то: метеориты, катастрофы, столкновения и т. п., которых было много в течение первого миллиарда лет истории Солнечной системы. Таким образом, окончательное установление местоположения и орбит планет заняло длительный период, возможно, более миллиарда лет (см. также: Савченко, Смагин 2013: 11).

Взаимодействие крупных и малых объектов и взаимное влияние их друг на друга – особая тема в эволюции, мы к ней еще вернемся в следующем издании, когда будем вести речь о телах Солнечной системы.

**Особенности Солнечной системы во вселенском масштабе.** Завершая этот параграф, стоит сказать, что, как этого и следовало ожидать, в каждом протопланетном диске благодаря массе случайностей формируется индивидуальная, непохожая на другие, планетная система. То есть нет общего плана формирования планетных систем (Лин 2008). Повторим, порядок во многом зависит от случайностей, начиная от количества вещества в протопланетном облаке до резонансов, катастроф и прочих вещей\*. Однако если говорить о каких-либо вероятностях, то в результате наблюдений за тысячами экзопланет выяснилось, что *Солнечная система с точки зрения расположения и величины планет относится к редко встречающимся типам.*

Обратим внимание, что всего несколькими годами раньше Д. Лин (2008) указывал, что существует мнение, буд-

то похожие на Землю планеты распространены больше, чем планеты-гиганты. Однако в связи с новыми данными идея о распространенности планет земного типа не подтвердилась. Полагаем, что мнения о том, насколько типичны/нетипичны Солнечная система и Земля как планета, еще будут меняться в результате новых открытий.

Типичная планетная система содержит одну или несколько суперземель (то есть планет, в несколько раз превышающих Землю по размерам) с орбитальными периодами короче примерно 100 суток. А гигантские планеты типа Юпитера и Сатурна встречаются лишь у 10 % звезд, и еще реже они движутся по почти круговым орбитам. Мало того, среди экзопланет было много так называемых «горячих юпитеров», то есть планет, которые располагались близко к своему солнцу и вращались вокруг него за несколько суток (Батыгин и др. 2016: 19). Поскольку в такой близости от звезды лед полностью отсутствует, что противоречит сложившимся представлениям о картине образования планет, предполагается, что эти горячие гиганты формировались вдали от своей звезды, а затем мигрировали к ней<sup>92</sup>.

Также и разделение Солнечной системы на внутренние каменные планеты и внешние газовые гиганты, ранее считавшееся «космическим стандартом», встречается очень редко, что фактически делает нашу планетную систему «белой вороной». Планеты среднего размера, так называемые суперземли, – вероятно, самые распространенные в Галактике, но ни одной из них нет в семье Солнца. К тому же у большинства звезд многие планеты расположены гораздо ближе, чем ближайший спутник нашего Солнца Меркурий. Орбиты странного семейства нашего Солнца более округлые и широкие, чем у планет других звезд. Объяснить эти расхождения можно, учитывая сложное взаимодействие планет в период молодости Солнечной системы (Там же: 21).

*Таким образом, мы вновь видим, что путь эволюции – это типичное в индивидуальном, особенности системы зависят от ее генетики и внешней среды, случайностей, говоря биологическим языком, от генотипа и фенотипа\* ; а также то, что Солнечная си-*

---

<sup>92</sup> Отметим попутно, что идея о существовании в космосе в экзопланетных системах «горячих юпитеров» может косвенно подтверждать теорию о том, что планеты земной группы могли потерять свои флюидные оболочки.

*стема имеет свои особенности, которые могли играть важную роль в создании условий для появления жизни на Земле.*

Выясняется и еще одна интересная особенность. По сравнению с другими планетными системами, где суперземли плотно упакованы, Солнечная система кажется почти пустой (Батыгин и др. 2016: 20)<sup>93</sup>. В то же время несомненно, что Солнечная система намного плотнее упакована, чем ряд других (возможно, еще не открытых) планетных систем. То есть представляется, что в Солнечной системе достигнуто достаточно оптимальное соотношение «заселенности»\*. Это важно, поскольку такой оптимум условий и пропорций является одной из предпосылок для эволюционного рывка\*. В частности, выход жизни на сушу, где плотность населения возросла, дал мощный толчок для роста разнообразия и уровня биологической организации. Но и на суше эволюционные рывки скорее происходят в не столь плотно заселенных ареалах. Из плотно заселенных ареалов животные мигрируют на более свободные территории, что ведет к разнообразию популяций вида и создает условия для нового видообразования. То же можно сказать в отношении социальной эволюции. Только переход к земледелию (особенно ирригационному) позволил выйти из ситуации недостаточной концентрации населения для возникновения государств и цивилизаций (об этой и других предпосылках и условиях возникновения государственности см.: Гринин 2011). Но и сверхплотность населения для аграрного принципа производства в Китае и других азиатских странах стала препятствием для нового эволюционного рывка. Зато Европа, будучи намного более плотно заселенной, чем Африка, в то же время значительно уступала в этом отношении Азии, обладая оптимальной плотностью населения для подъема. И именно в Европе начался модернизационный рывок (см.: Он же 2006; Grinin *et al.* 2015).

## **7.2. Гипотезы о смене орбит**

**Смена орбиты Юпитера и других планет.** Если исходить из того, что Юпитер образовался первым и оказал влияние на формирование и местоположение всех остальных планет, то его истории сле-

---

<sup>93</sup> Это, кстати, противоречит вышеприведенной идее о том, что «добавить» больше планет в Солнечную систему не позволяла гравитация. Пока все подобного рода идеи являются только гипотезами.

дует уделить особое внимание. Кроме того, Юпитер, вероятно, сам изменил свою орбиту (и не исключено, что не один раз). Возможно, он сформировался в зоне, более близкой к Солнцу. Выше мы уже говорили о том, что существуют разные гипотезы о возможных направлениях этих миграций самой крупной планеты Солнечной системы. Далее мы увидим две версии этой «одиссеи» гиганта.

Сначала приведем историю в изложении Д. Лина. Юпитер должен был формироваться во внутренней части планетной системы, вблизи линии льда, пока в диске было еще достаточно газа. Но для этого в диске должно быть много и твердого вещества. Кроме того, он должен был переместиться к месту своего нынешнего расположения. Мигрировать по типу зародышей планет он не мог, так как был слишком велик, но возможны были способы миграции за счет диффузии газа. Этот процесс довольно медленный: нужно несколько миллионов лет для перемещения планеты на несколько астрономических единиц.

Далее излагается одна из последних версий миграций Юпитера и других планет, вызванных влиянием Юпитера (Batygin *et al.* 2016; Batygin, Brown 2016; Батыгин и др. 2016)<sup>94</sup>. Сначала предполагается, что Юпитер после своего образования начал двигаться к Солнцу. В течение примерно 100 тыс. лет, когда Юпитер дрейфовал к центру и тянул за собой Сатурн, он действовал как гравитационный бульдозер, толкая несколько земных масс ледяного вещества внутрь системы. Взаимное гравитационное влияние обеих планет создавало разрыв в протопланетном диске. Дрейфуя внутрь, Юпитер и Сатурн попали в орбитальный резонанс<sup>95</sup>. Последний изменил движение планет: затормозил их миграцию внутрь и направил обратно к внешней части Солнечной системы, куда они

<sup>94</sup> Эти статьи вызвали довольно большой резонанс и дополнительно популяризировались в ряде статей с весьма интересными образами и дополнениями (см., например: Биллинг 2015; Хауэлл 2015).

<sup>95</sup> Согласно Википедии, орбитальный резонанс возникает, когда орбитальные тела оказывают регулярное периодическое гравитационное влияние друг на друга. Чаще всего в резонансе находятся пары объектов. В большинстве случаев это приводит к нестабильному взаимодействию, при котором тела обмениваются импульсом и смещением, пока резонанс не затухает. В некоторых случаях резонансная система может быть стабильной и самокорректирующейся, так что тела остаются в резонансе. Об истории исследования резонансов см.: Молчанов 2011: 34–48. Автор статьи высказывает интересную для нашего исследования мысль, что резонансность характерна для любой эволюционно зрелой динамической системы.

двигались примерно полмиллиона лет, разбрасывая обломки. Перераспределение вещества в диске при смене галса Юпитера и Сатурна хорошо объясняет небольшую величину Марса и состав современного пояса астероидов (Батыгин и др. 2016: 22). Земля и другие каменные планеты, а также пояс астероидов формировались из обломков, оставшихся после смены галса (Там же: 23).

Когда Юпитер и Сатурн, двигаясь к Солнцу, вызывали движение мелких тел, скалы и льдины сталкивались и дробились, образуя рои обломков. Попав в резонанс с ранее существовавшими планетами, эти рои отбирали у них энергию и рассеивали ее в виде тепла от трения в газовом диске. За сотни тысяч лет рои могли сбросить на Солнце любую суперземлю (Там же).

Таким образом, не исключено, что в результате смены курса Юпитера были уничтожены первичные планеты (суперземли) и было расчищено место для современной Солнечной системы.

*В течение последующих сотен миллионов лет* (курсив мой. – Л. Г.) Земля и другие ныне существующие планеты земной группы слиплись из редких обломков, оставив внутри системы почти пустое пространство. Таким образом, в результате смены галса возникли условия для формирования внутренних планет и последнего всплеска интенсивного взаимодействия между планетами. В итоге это взаимодействие выдвинуло Юпитер внутрь, на его нынешнее место, а другие планеты отодвинуло наружу. По сути, Юпитер действовал, как слон в посудной лавке, расшвыривая и круша все вокруг. Поэтому возникло предположение, что один из гигантов мог быть вообще выброшен в межзвездное пространство. Речь идет о гипотетической девятой протопланете, которая могла существовать в то далекое время.

Оставшиеся планеты постепенно стабилизировали свои орбиты, взаимодействуя с внешними льдистыми обломками (которые теперь мы называем поясом Койпера). В виде побочного эффекта они сбросили во внутреннюю область Солнечной системы поток обломков, вызвавший мощную бомбардировку (см. ниже). Около 3,8 млрд лет назад гиганты успокоились в их современном положении, образовав Солнечную систему в том виде, какой мы ее знаем (Там же: 23).

Словом, порядок в формирующейся Солнечной системе возник далеко не сразу. По мнению К. Батыгина и соавторов, потребовалось 800 млн лет для того, чтобы система сложилась.

*Таким образом, согласно этой гипотезе (и некоторым другим) существовало не одно, а два или более поколений первичных планет, поскольку Юпитер и Сатурн сбросили их на Солнце или выбросили за пределы Солнечной системы. Соответственно, пространство внутри Солнечной системы стало более свободным, а планетные орбиты – более круговыми. То есть современный порядок потребовал двух или более попыток создания системы (выше упоминали также гипотезы о гибели так называемых хондритовых планет). С точки зрения эволюционной теории такая идея более привлекательна, поскольку первичные системы (в биологии или социологии) часто выглядят архаично, а более совершенные системы образуются уже как вторичные или третичные\*.*

Несмотря на то, что вышеизложенное – всего лишь гипотеза, а не установленные факты, тем не менее сам уровень знаний, дающий возможности создания таких гипотез, говорит о том, насколько космологи продвинулись в понимании процессов образования планетных систем. Поэтому не таким уж преувеличением выглядит следующее сравнение. Как секвенирование нитей ДНК раскрывает историю древних миграций человечества по поверхности нашей маленькой планеты, так и компьютерное моделирование позволяет астрономам реконструировать величественную историю путешествий планет в течение первого миллиарда лет жизни Солнечной системы (Батыгин и др. 2016: 26).