

Эволюция Планет

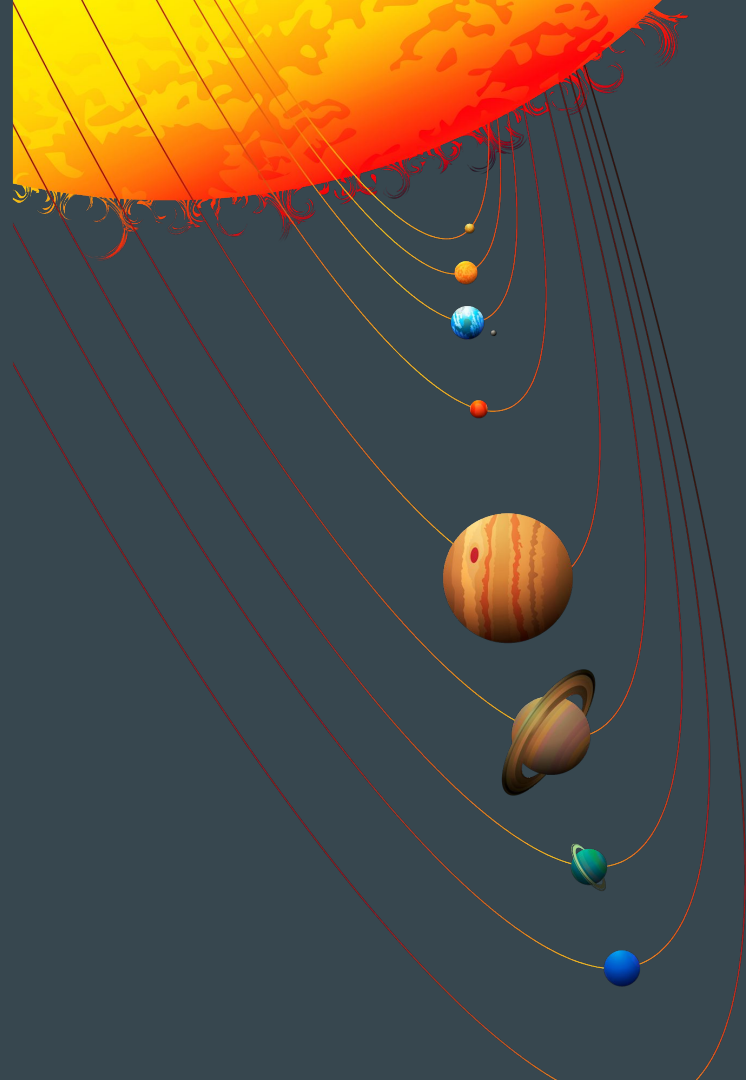


Нурмеева Карина, 10А



Содержание.

1. Формирование планет. Теории.
2. Последующая эволюция.
3. Планетная миграция.
4. Поздняя тяжелая бомбардировка.
5. Формирование спутников.



1. Формирование планет. Теории.

Отправная точка всех рассуждений о пути формирования планет — газопылевой (протопланетный) диск вокруг формирующейся звезды. Сценариев, как из него получились планеты, существует два типа:

- Доминирующий на данный момент — аккреционный. Предполагает формирования из первоначальных планетозималей.
- Второй полагает, что планеты сформировались из первоначальных «сгущений», впоследствии сколлапсировавших.

Окончательно формирование планеты прекращается, когда в молодой звезде зажигаются ядерные реакции и она рассеивает протопланетный диск, за счет давления солнечного ветра, эффекта Пойнтинга — Робертсона и прочих.

Формирование планет Солнечной системы началось приблизительно 4,6 млрд лет назад.

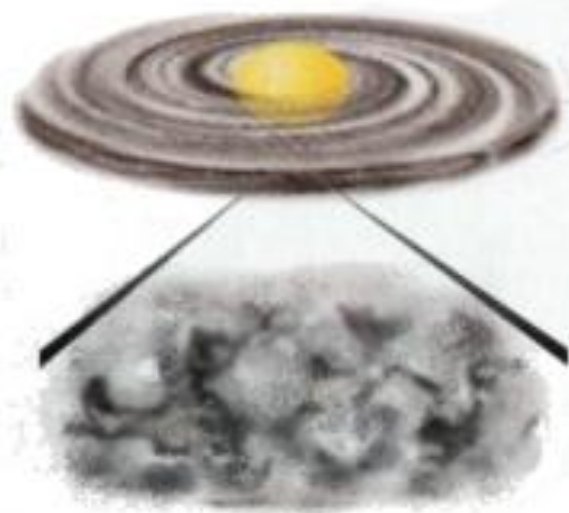
1.1. Аккреционный сценарий.

Вначале из пыли образуются первые планетозимали. По мере роста возникают доминирующие планетозимали, которые впоследствии станут протопланетами. Растить такие тела могут не до бесконечности, а ровно до того момента пока есть небольшие планетозимали в их окрестностях. Дальнейшее развитие протопланеты может следовать по следующим сценариям, один из которых приводит к образованию планет с твердой поверхностью, другой — к газовым гигантам.

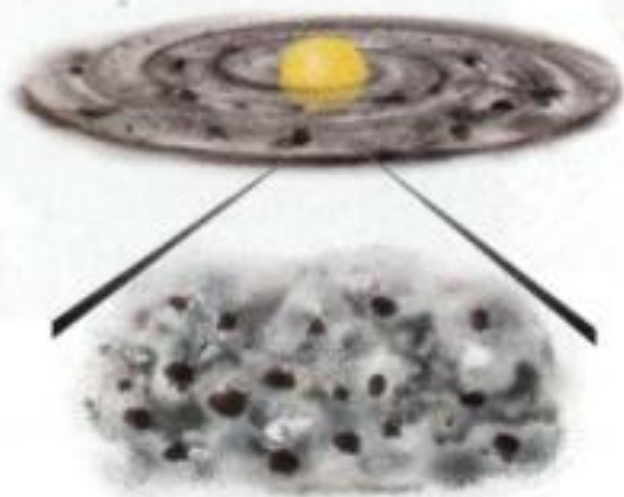
В первом случае, тела с изолированной массой тем или иным образом увеличивают эксцентриситет и их орбиты пересекаются. В ходе череды поглощений более мелких протопланет образуются планеты подобные Земле.

Планета-гигант может образоваться если вокруг протопланеты останется много газа из протопланетного диска. Тогда в роли ведущего процесса дальнейшего приращения массы начинает выступать аккреция.

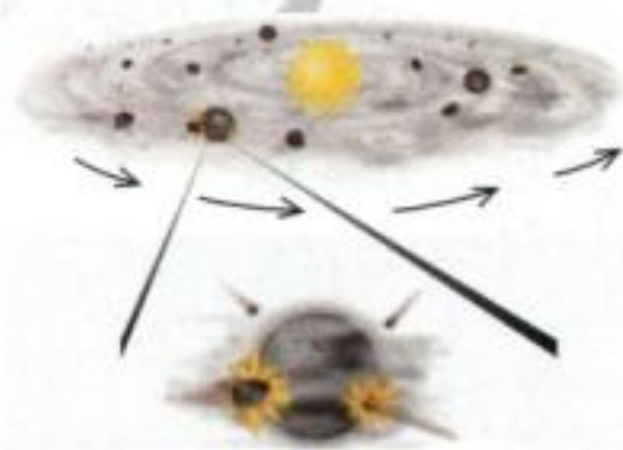
Диск из газа и пыли вращается
вокруг молодого Солнца



Газовые пылинки



Газовые пылинки сжимаются
в планетозимали



Планетозимали сталкиваются
в протопланеты

1.2. Сценарий гравитационного коллапса.

Как и в любом самогравитирующем объекте, в протопланетном диске могут развиваться неустойчивости. Впервые эту возможность рассмотрел Тумре в 1981 году. Оказалось, что диск начинает распадаться на отдельные кольца если: $Q(= c_s * k / \pi * G * Z, \text{ где } c_s \text{ — скорость звука в протопланетном диске, } k \text{ — эпициклическая частота}) < 1.$

Сегодня параметр Q носит название «параметр Тумре», а сам сценарий называется неустойчивостью Тумре. Время, за которое диск будет разрушен, сравнимо со временем охлаждения диска

Трудности: требуется сверхмассивный протопланетный диск.

2. Последующая эволюция.

Раньше считалось, что все планеты сформировались приблизительно на тех орбитах, где находятся сейчас, однако в конце XX — начале XXI века эта точка зрения радикально изменилась. Сейчас считается, что на заре своего существования Солнечная система выглядела совсем не так, как она выглядит сейчас. По современным представлениям, внешняя Солнечная Система была гораздо компактнее по размеру чем сейчас, пояс Койпера был гораздо ближе к Солнцу, а во внутренней Солнечной системе помимо доживших до настоящего времени небесных тел существовали и другие объекты, по размеру не меньшие чем Меркурий.

В конце эпохи формирования планет внутренняя Солнечная система была населена 50-100 протопланетами с размерами, варьирующимися от лунного до марсианского. Дальнейший рост размеров небесных тел был обусловлен столкновениями и слияниями этих протопланет между собой. Так, например, в результате одного из столкновений Меркурий лишился большей части своей мантии, в то время как в результате другого т.н. гигантского столкновения (возможно, с гипотетической планетой Тейя) был рождён спутник Земли Луна. Эта фаза столкновений продолжалась около 100 миллионов лет до тех пор, пока на орбитах не осталось 4 массивных небесных тела, известных сейчас.

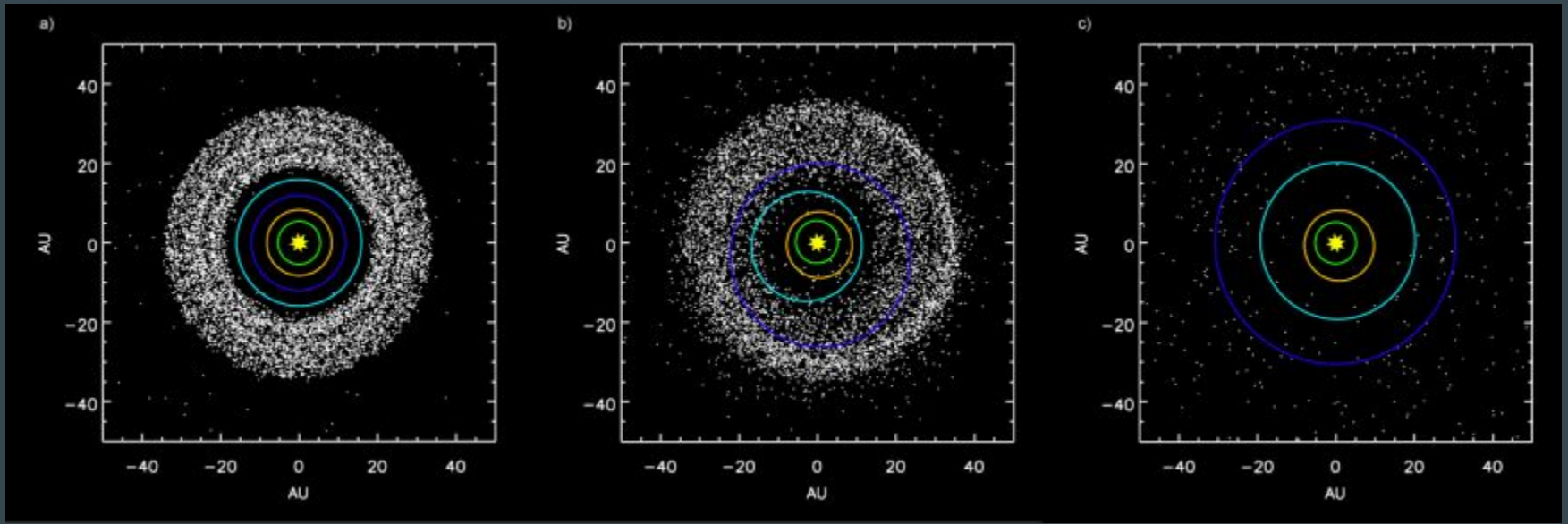


Гигантское
столкновение двух
небесных тел, возможно,
породившее спутник
Земли Луну.

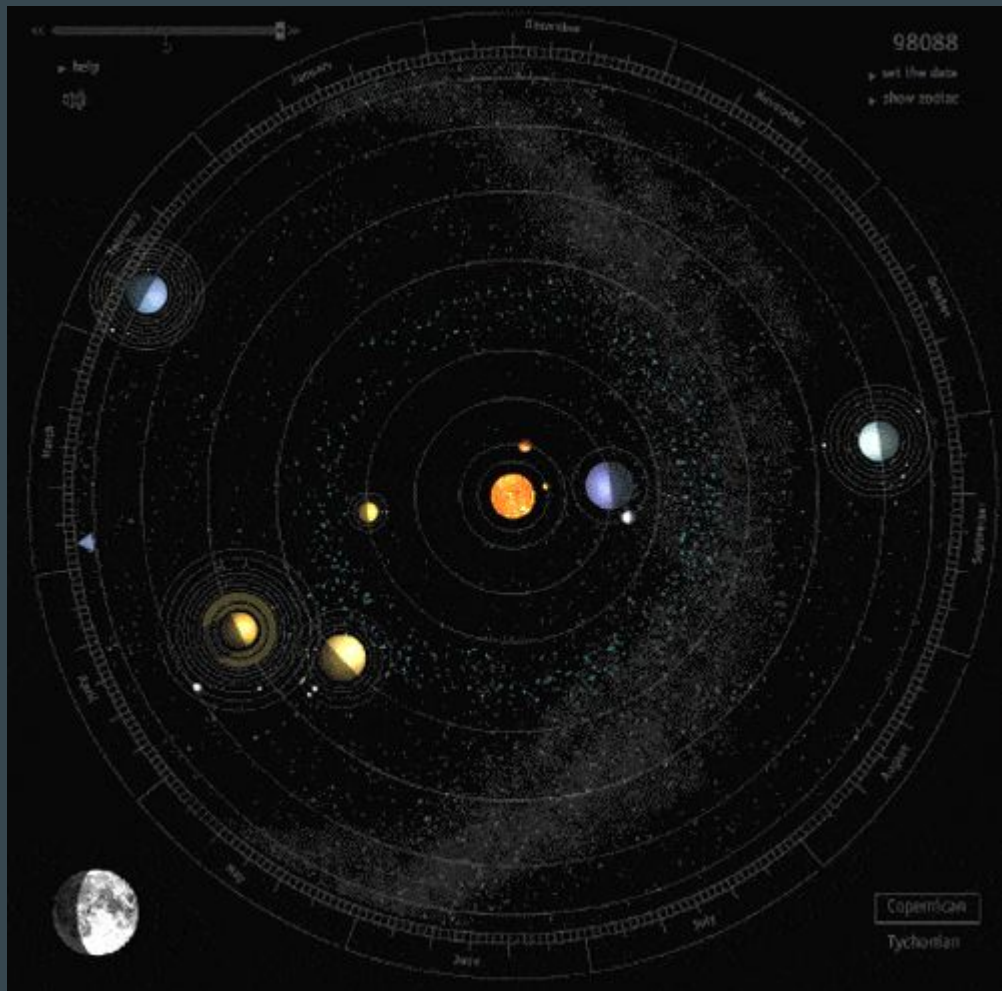
3. Планетная миграция.

В соответствии с небулярной гипотезой, две внешние планеты Солнечной системы находятся в «неправильном» месте. Уран и Нептун, «ледяные гиганты» Солнечной системы, располагаются в области, где пониженная плотность вещества туманности и длительные орбитальные периоды делали формирование таких планет весьма маловероятным событием. Считается, что эти две планеты изначально сформировались на орбитах вблизи Юпитера и Сатурна, где имелось гораздо больше строительного материала, и только спустя сотни миллионов лет мигрировали на свои современные позиции. Планетная миграция в состоянии объяснить существование и свойства внешних регионов Солнечной системы. За Нептуном Солнечная система содержит пояс Койпера, Рассеянный диск и облако Оорта, представляющие собой рассеянные скопления маленьких ледяных тел и дающие начало большинству наблюдаемых в Солнечной системе комет. В прошлом пояс Койпера был гораздо плотнее и ближе к Солнцу. Его внешний край находился примерно в 30 а.е. от Солнца, в то время как его внутренний край располагался непосредственно за орбитами Урана и Нептуна, которые в свою очередь были также ближе к Солнцу.

После формирования Солнечной системы орбиты всех планет-гигантов продолжали медленно изменяться под влиянием взаимодействий с большим количеством оставшихся планетозималей. Спустя 500—600 миллионов лет (4 миллиарда лет назад) Юпитер и Сатурн вошли в орбитальный резонанс 2:1; Сатурн совершал один оборот вокруг Солнца в точности за то время, за которое Юпитер совершал 2 оборота. Этот резонанс создал гравитационное давление на внешние планеты, вследствие чего Нептун вырвался за пределы орбиты Урана и врезался в древний пояс Койпера. По этой же причине планеты стали отбрасывать окружающие их ледяные планетозимали вовнутрь Солнечной системы, в то время как сами стали отдаляться вовне. Этот процесс продолжался аналогичным образом: под действием резонанса планетозимали выбрасывались вовнутрь системы каждой последующей планетой, которую они встречали на своём пути, а орбиты самих планет отдалялись все дальше. Этот процесс продолжался до тех пор, пока планетозимали не вошли в зону непосредственного влияния Юпитера, после чего огромная гравитация этой планеты отправила их на высокоэллиптические орбиты или даже выбросила их за пределы Солнечной системы. Эта работа в свою очередь слегка сдвинула орбиту Юпитера вовнутрь. Объекты, выброшенные Юпитером на высокоэллиптические орбиты, сформировали облако Оорта, а тела, выброшенные мигрирующим Нептуном, сформировали современный пояс Койпера и рассеянный диск. Данный сценарий объясняет, почему рассеянный диск и пояс Койпера имеют малую массу. Некоторые из катапультированных объектов, включая Плутон, со временем вошли в гравитационный резонанс с орбитой Нептуна. Постепенно трение с рассеянным диском сделало орбиты Нептуна и Урана вновь гладкими.



Симуляция, показывающая расположение внешних планет и пояса Койпера: а) Перед орбитальным резонансом 2:1 Юпитера и Сатурна; б) Разбрасывание объектов древнего пояса Койпера по Солнечной системе после сдвига орбиты Нептуна; в) После выбрасывания Юпитером объектов пояса Койпера за пределы системы.



Современное расположение планет в Солнечной системе. Движение планет вокруг Солнца.

4. Поздняя тяжелая бомбардировка.

Гравитационное разрушение древнего астероидного пояса, вероятно, положило начало периоду тяжёлой бомбардировки, происходившему около 4 миллиардов лет назад, через 500—600 миллионов лет после формирования Солнечной системы. Этот период длился несколько сотен миллионов лет и его последствия видны до сих пор на поверхности геологически неактивных тел Солнечной системы, таких как Луна или Меркурий, в виде многочисленных кратеров ударного происхождения. А самое древнее свидетельство жизни на Земле датируется 3,8 миллиардами лет назад — почти сразу после окончания периода поздней тяжёлой бомбардировки.

Гигантские столкновения являются нормальной (хоть и редкой в последнее время) частью эволюции Солнечной системы. Доказательствами этого служат столкновение кометы Шумейкера—Леви с Юпитером в 1994, падение на Юпитер небесного тела в 2009 и метеоритный кратер в Аризоне. Это говорит о том, что процесс аккреции в Солнечной системе ещё не закончен, и, следовательно, представляет опасность для жизни на Земле.



5. Формирование спутников.

Естественные спутники образовались у большинства планет Солнечной системы, а также у многих других тел. Различают три основных механизма их формирования:

- формирование из около-планетного диска (в случае газовых гигантов)
- формирование из осколков столкновения (в случае достаточно крупного столкновения под малым углом)
- захват пролетающего объекта

Юпитер и Сатурн имеют много спутников, таких как Ио, Европа, Ганимед и Титан, которые, вероятно, сформировались из дисков вокруг этих планет-гигантов по тому же принципу, как и сами эти планеты сформировались из диска вокруг молодого Солнца. На это указывают их большие размеры и близость к планете. Эти свойства невозможны для спутников, приобретённых путём захвата, а газообразная структура планет делает невозможной и гипотезу формирования лун путём столкновения планеты с другим телом.



Спутники Юпитера — Ио, Европа, Ганимед, Каллисто.

Спасибо за внимание!