

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

Обо всём

ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТ

- Формирование планет- это хаотичный процесс, предполагающий различный результат для каждой системы. Все планеты начинались со скромных тел — микронных пылинок (пепел давно умерших звезд), плавающих во вращающемся газовом диске. С удалением от новорожденной звезды температура газа падает, проходя через «линию льда», за которой вода замерзает. В нашей Солнечной системе эта граница отделяет внутренние твердые планеты от внешних газовых гигантов.

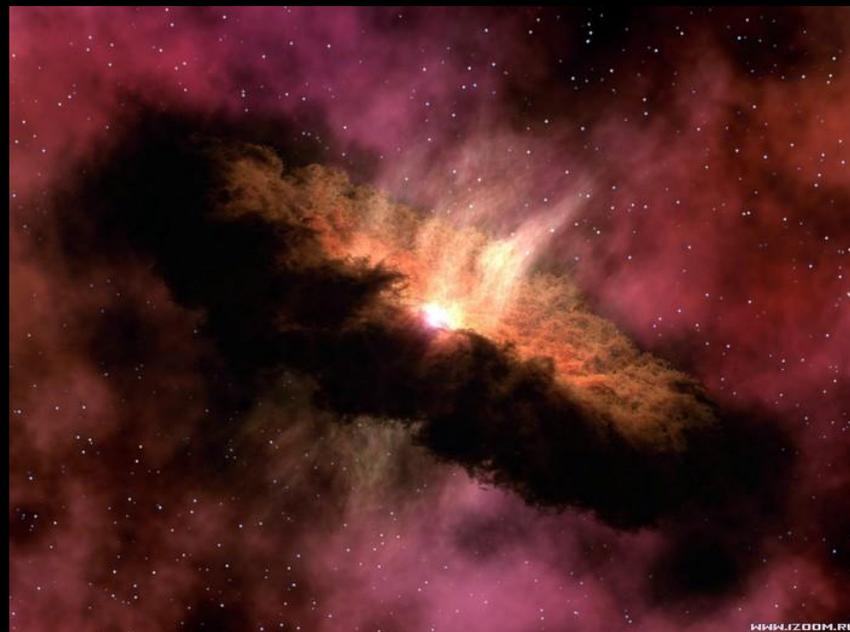


СУЩЕСТВУЕТ ДВА СЦЕНАРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАНЕТ

Теория последовательной аккреции



Теория гравитационной неустойчивости



- Согласно первому сценарию, крошечные частицы пыли слипаются, образуя крупные глыбы. Если такая глыба притянет к себе много газа, она превращается в газовый гигант, как Юпитер, а если нет — в каменистую планету типа Земли. Основные недостатки данной теории — медлительность процесса и возможность рассеяния газа до формирования планеты.
- Второй же утверждает, что газовые гиганты формируются путем внезапного коллапса, приводящего к разрушению первичного газопопылевого облака. Данный процесс в миниатюре копирует формирование звезд. Но гипотеза эта весьма спорная, т.к. предполагает наличие сильной неустойчивости, которая может и не наступить. К тому же астрономы обнаружили, что наиболее массивные планеты и наименее массивные звезды разделены «пустотой» (тел промежуточной массы просто не существует). Такой «провал» свидетельствует о том, что планеты — это не просто маломассивные звезды, но объекты совершенно иного происхождения.

НЕСМОТРЯ НА ТО, ЧТО УЧЕНЫЕ ПРОДОЛЖАЮТ СПОРИТЬ, БОЛЬШИНСТВО СЧИТАЕТ БОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫМ СЦЕНАРИЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ АККРЕЦИИ - О НЁМ И ПОЙДЁТ ДАЛЬНЕЙШАЯ РЕЧЬ.

КАЖДУЮ ЗВЕЗДУ ОКРУЖАЕТ ДИСК ИЗ ОСТАВШЕГОСЯ ВЕЩЕСТВА, КОТОРОГО ДОСТАТОЧНО ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАНЕТ. МОЛОДЫЕ ДИСКИ В ОСНОВНОМ СОДЕРЖАТ ВОДОРОД И ГЕЛИЙ. В ИХ ГОРЯЧИХ ВНУТРЕННИХ ОБЛАСТЯХ ЧАСТИЦЫ ПЫЛИ ИСПАРЯЮТСЯ, А В ХОЛОДНЫХ И РАЗРЕЖЕННЫХ ВНЕШНИХ СЛОЯХ ЧАСТИЦЫ ПЫЛИ СОХРАНЯЮТСЯ И РАСТУТ ПО МЕРЕ КОНДЕНСАЦИИ НА НИХ ПАРА.

- 1 Частицы сталкиваются, слипаются и растут



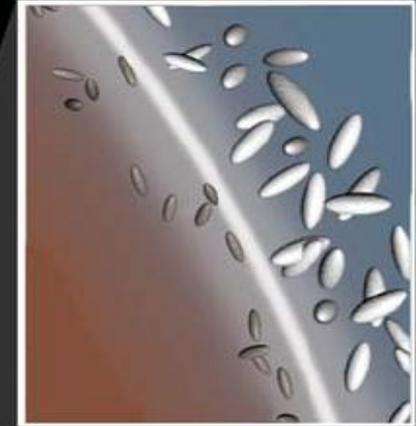
Диск из газа и пыли

- 2 Малые частицы увлекает газ, но те, что больше миллиметра, тормозятся и по спирали движутся к звезде



Прото-Солнце

- 3 У линии льда условия таковы, что сила трения меняет направление. Частицы стремятся слипнуться и легко объединяются в более крупные тела — планетезимали



Пыль по спирали движется внутрь

2-4 AU

Линия льда

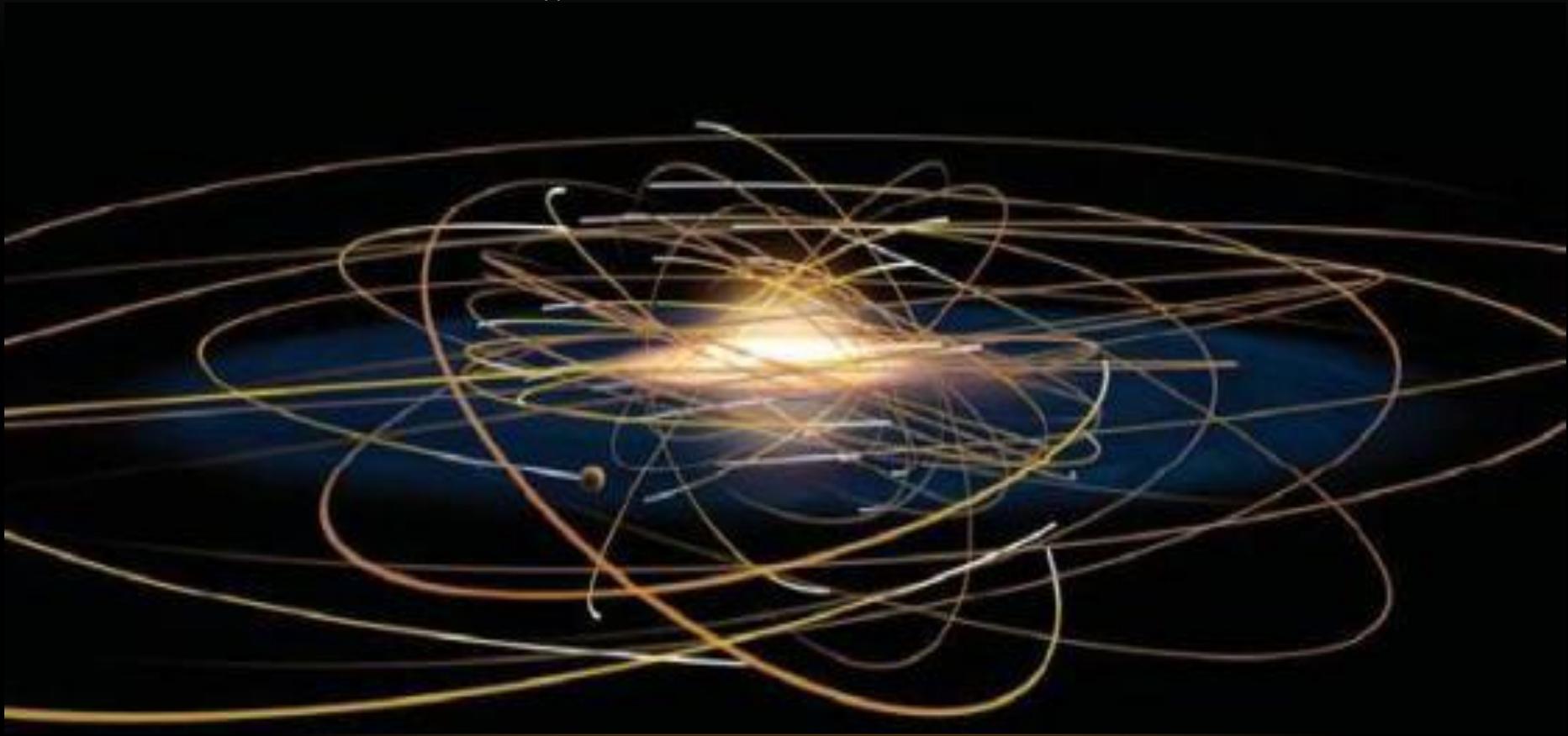
- Частицы пыли в протопланетном диске, хаотически двигаясь вместе с потоками газа, сталкиваются друг с другом и при этом иногда слипаются, иногда разрушаются. Пылинки поглощают свет звезды и переизлучают его в длинноволновом инфракрасном диапазоне, передавая тепло в самые темные внутренние области диска. Температура, плотность и давление газа в целом снижаются с удалением от звезды. Из-за баланса давления, гравитации и центробежной силы скорость вращения газа вокруг звезды меньше, чем у свободного тела на таком же расстоянии.

В результате пылинки размером более нескольких миллиметров опережают газ, поэтому встречный ветер тормозит их и вынуждает по спирали опускаться к звезде. Чем крупнее становятся эти частицы, тем быстрее они движутся вниз. Глыбы метрового размера могут сократить свое расстояние от звезды вдвое всего за 1000 лет. Приближаясь к звезде, частицы нагреваются, и постепенно вода и другие вещества с низкой температурой кипения, называемые летучими веществами, испаряются. Расстояние, на котором это происходит, — так называемая «линия льда». В Солнечной системе это как раз нечто среднее между орбитами Марса и Юпитера.

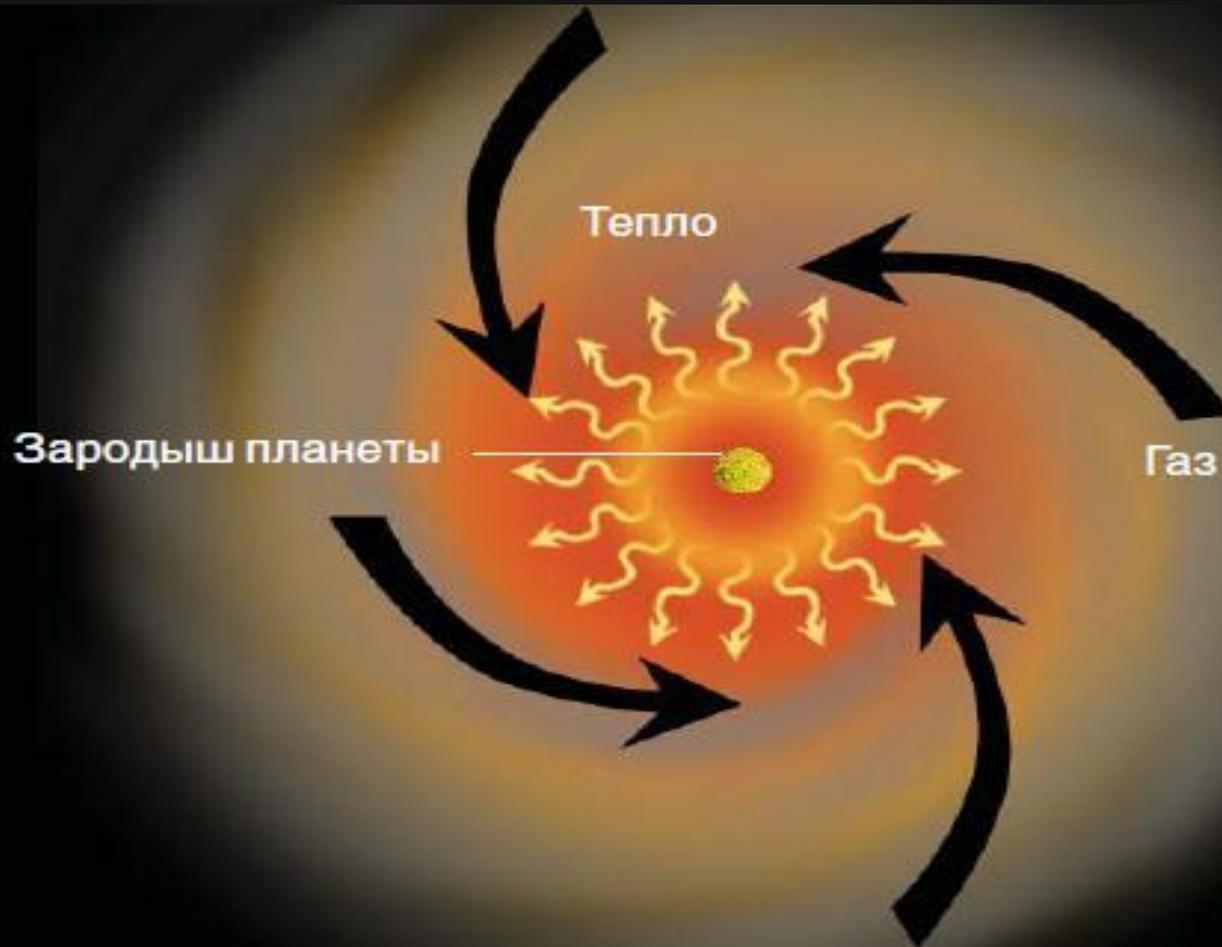
- Скапливаясь, частицы сталкиваются и растут. Некоторые из них прорываются за линию льда и продолжают миграцию внутрь; нагреваясь, они покрываются жидкой грязью и сложными молекулами, что делает их более липкими. Некоторые области настолько заполняются пылью, что взаимное гравитационное притяжение частиц ускоряет их рост. Постепенно пылинки собираются в тела километрового размера, называемые планетезималями, которые на последней стадии формирования планет сгребают почти всю первичную пыль. Увидеть сами планетезимали в формирующихся планетных системах трудно, но астрономы могут догадываться об их существовании по обломкам их столкновений.

РЕЗУЛЬТАТ- МНОЖЕСТВО КИЛОМЕТРОВЫХ «СТРОИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ», НАЗЫВАЕМЫХ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЯМИ.

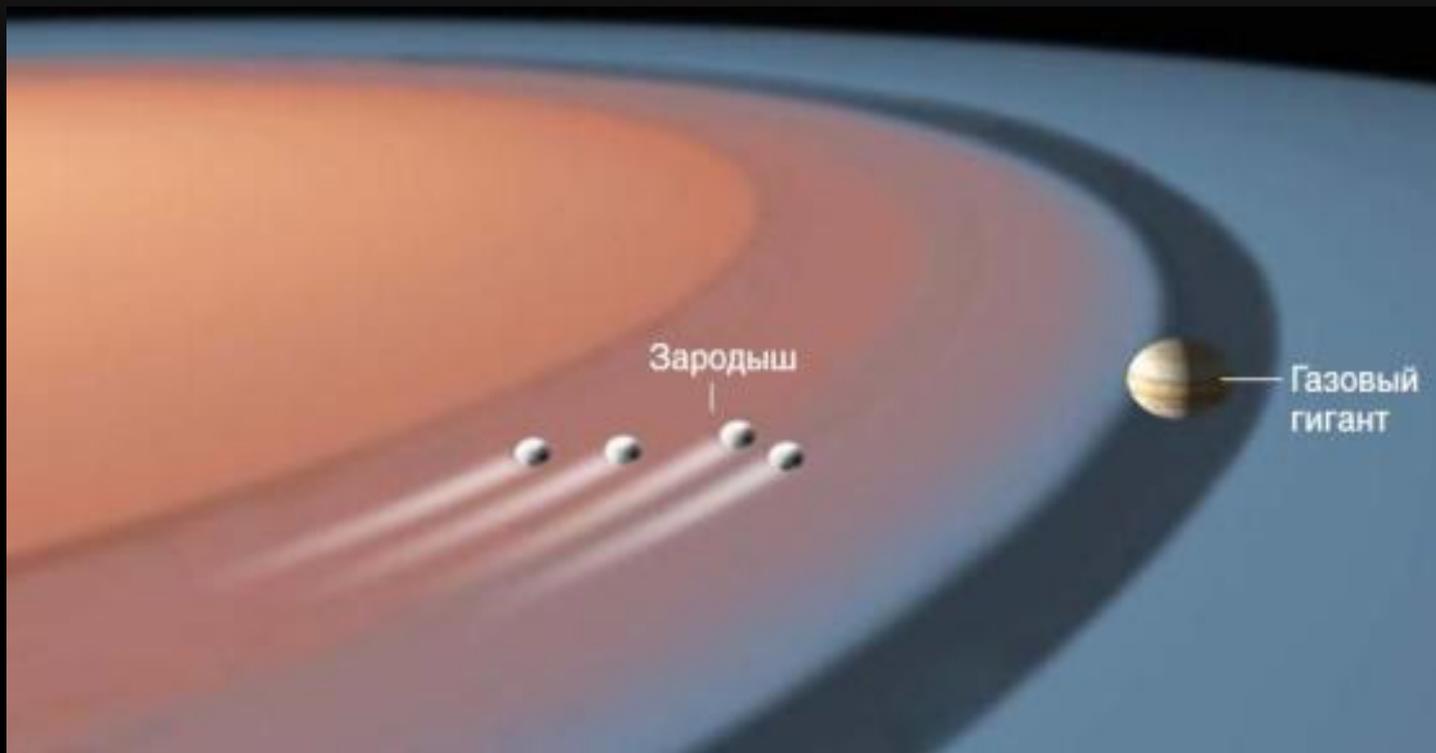
ВЗАИМНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ МОГУТ СТИМУЛИРОВАТЬ КАК ИХ РОСТ, ТАК И РАЗРУШЕНИЕ. ВНАЧАЛЕ РОСТ ТЕЛА ПРОИСХОДИТ В СИЛУ СЛУЧАЙНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ. НО ЧЕМ БОЛЬШЕ СТАНОВИТСЯ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЬ, ТЕМ СИЛЬНЕЕ ЕЕ ГРАВИТАЦИЯ, ТЕМ ИНТЕНСИВНЕЕ ОНА ПОГЛОЩАЕТ СВОИХ МАЛОМАССИВНЫХ СОСЕДЕЙ. КОГДА МАССЫ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ СТАНОВЯТСЯ СРАВНИМЫ С МАССОЙ ЛУНЫ, ИХ ГРАВИТАЦИЯ ВОЗРАСТАЕТ НАСТОЛЬКО, ЧТО ОНИ ВСТРЯХИВАЮТ ОКРУЖАЮЩИЕ ТЕЛА И ОТКЛОНЯЮТ ИХ В СТОРОНЫ ЕЩЕ ДО СТОЛКНОВЕНИЯ. ЭТИМ ОНИ ОГРАНИЧИВАЮТ СВОЙ РОСТ. ТАК ВОЗНИКАЮТ «ОЛИГАРХИ» — ЗАРОДЫШИ ПЛАНЕТ СО СРАВНИМЫМИ МАССАМИ, КОНКУРИРУЮЩИЕ ДРУГ С ДРУГОМ ЗА ОСТАВШИЕСЯ ПЛАНЕТЕЗИМАЛИ.



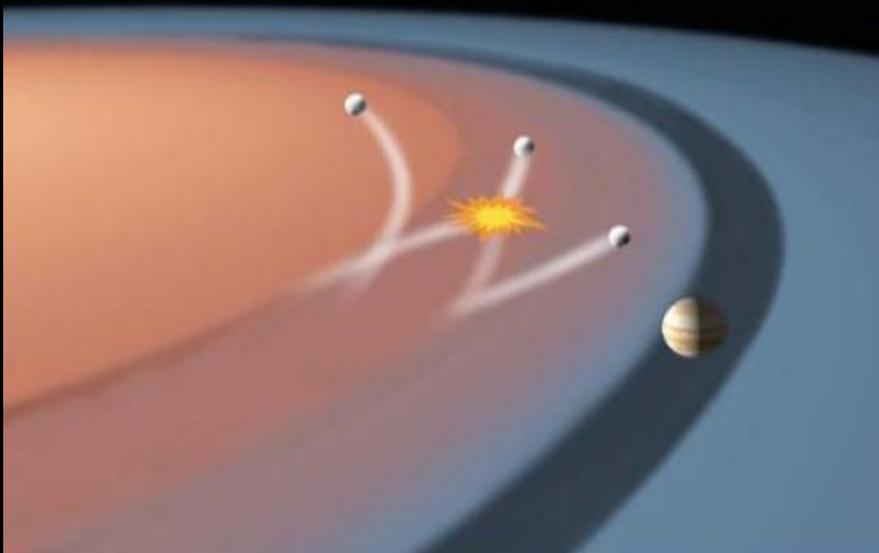
ПЛАНЕТА ПРИТЯГИВАЕТ ГАЗ, НО ОН НЕ МОЖЕТ ОСЕСТЬ, ПОКА НЕ ОСТЫНЕТ. А ЗА ЭТО ВРЕМЯ ОНА МОЖЕТ ДОВОЛЬНО БЛИЗКО ПО СПИРАЛИ ПОДОЙТИ К ЗВЕЗДЕ. ГИГАНТСКАЯ ПЛАНЕТА МОЖЕТ СФОРМИРОВАТЬСЯ ДАЛЕКО НЕ ВО ВСЕХ СИСТЕМАХ.



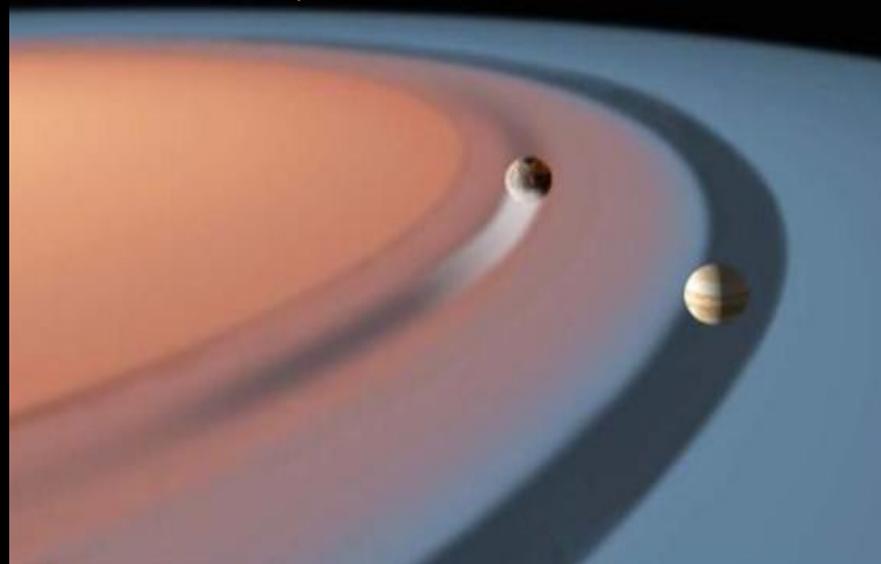
ВО ВНУТРЕННЕЙ ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЗАРОДЫШИ ПЛАНЕТ НЕ МОГУТ РАСТИ, ЗАХВАТЫВАЯ ГАЗ, ПОЭТОМУ ОНИ ДОЛЖНЫ СЛИВАТЬСЯ ДРУГ С ДРУГОМ. ДЛЯ ЭТОГО ИХ ОРБИТЫ ДОЛЖНЫ ПЕРЕСЕКАТЬСЯ, А ЗНАЧИТ, ЧТО-ТО ДОЛЖНО НАРУШИТЬ ИХ ПЕРВОНАЧАЛЬНО КРУГОВОЕ ДВИЖЕНИЕ.



Взаимодействие зародышей между собой и с гигантской планетой возмущает орбиты.



Зародыши объединяются в планету типа Земли. Она возвращается на круговую орбиту, перемешивая оставшийся газ и разбрасывая сохранившиеся планетезимали.



К ЭТОМУ МОМЕНТУ ПЛАНЕТНАЯ СИСТЕМА УЖЕ ПОЧТИ СФОРМИРОВАЛАСЬ. ПРОДОЛЖАЮТСЯ ЕЩЕ НЕСКОЛЬКО ВТОРОСТЕПЕННЫХ ПРОЦЕССОВ: РАСПАД ОКРУЖАЮЩЕГО ЗВЕЗДНОГО СКОПЛЕНИЯ, СПОСОБНОГО СВОЕЙ ГРАВИТАЦИЕЙ ДЕСТАБИЛИЗИРОВАТЬ ОРБИТЫ ПЛАНЕТ; ВНУТРЕННЯЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ, ВОЗНИКАЮЩАЯ ПОСЛЕ ТОГО, КАК ЗВЕЗДА ОКОНЧАТЕЛЬНО РАЗРУШАЕТ СВОЙ ГАЗОВЫЙ ДИСК; И, НАКОНЕЦ, ПРОДОЛЖАЮЩЕЕСЯ РАССЕИВАНИЕ ОСТАВШИХСЯ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ ГИГАНТСКОЙ ПЛАНЕТОЙ. В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ УРАН И НЕПТУН ВЫБРАСЫВАЮТ ПЛАНЕТЕЗИМАЛИ НАРУЖУ, В ПОЯС КОЙПЕРА, ИЛИ ЖЕ К СОЛНЦУ. А ЮПИТЕР СВОИМ МОЩНЫМ ТЯГОТЕНИЕМ ОТСЫЛАЕТ ИХ В ОБЛАКО ООРТА, НА САМЫЙ КРАЙ ОБЛАСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ СОЛНЦА. В ОБЛАКЕ ООРТА МОЖЕТ СОДЕРЖАТЬСЯ ОКОЛО 100 ЗЕМНЫХ МАСС ВЕЩЕСТВА. ВРЕМЯ ОТ ВРЕМЕНИ ПЛАНЕТЕЗИМАЛИ ИЗ ПОЯСА КОЙПЕРА ИЛИ ОБЛАКА ООРТА ПРИБЛИЖАЮТСЯ К СОЛНЦУ, ОБРАЗУЯ КОМЕТЫ.

РАЗБРАСЫВАЯ ПЛАНЕТЕЗИМАЛИ, САМИ ПЛАНЕТЫ НЕМНОГО МИГРИРУЮТ, И ЭТИМ МОЖНО ОБЪЯСНИТЬ СИНХРОНИЗАЦИЮ ОРБИТ ПЛУТОНА И НЕПТУНА. ВОЗМОЖНО, ОРБИТА САТУРНА КОГДА-ТО РАСПОЛАГАЛАСЬ БЛИЖЕ К ЮПИТЕРУ, НО ЗАТЕМ ОТДАЛИЛАСЬ ОТ НЕГО. ВЕРОЯТНО, С ЭТИМ СВЯЗАНА ТАК НАЗЫВАЕМАЯ ПОЗДНЯЯ ЭПОХА СИЛЬНОЙ БОМБАРДИРОВКИ — ПЕРИОД ОЧЕНЬ ИНТЕНСИВНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ С ЛУНОЙ (И, ПО-ВИДИМОМУ, С ЗЕМЛЕЙ), НАСТУПИВШИЙ СПУСТЯ 800 МЛН ЛЕТ ПОСЛЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛНЦА. В НЕКОТОРЫХ СИСТЕМАХ ГРАНДИОЗНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ СФОРМИРОВАВШИХСЯ ПЛАНЕТ МОГУТ ВОЗНИКАТЬ НА ПОЗДНЕЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ.

РЕЗУЛЬТАТ- КОНЕЦ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТ И КОМЕТ.

