

A sound nebula. The origin of the Solar System in the field of a standing sound wave

Valeri Beck¹
v.beck@alfa-carbon.de

Abstract

This article proposes a new concept for the origin of the planets, making it possible to explain the majority of observed facts for both the Solar System and for exoplanetary systems. The most widespread nebular hypothesis of Kant-Laplace about the formation of the planets from a rotating pre-solar nebula is not capable of answering many questions about the origin of the Solar System. According to this new concept, when thermonuclear fusion started at the centre of the protosun, an explosion occurred and a shock wave passed through the pre-solar nebula which, when it returned to the centre, caused a new explosion and new wave. As a result of the periodic explosions, a spherical standing sound wave formed in the pre-solar nebula, with a concentration of dust occurring in the antinode of the wave. Subsequently, the dust gathered to form rotating rings from which the planets were formed. The distances between the antinodes of the standing wave are determined by the gas pressure and pull of gravity of the protosun and approximately consistent with the Titius-Bode law, which thus obtains the physical explanation. The very small angular momentum of the Sun (0.5%) and tilt of the equatorial plane (7°) occurred due to the asymmetry of the first very powerful explosion. The division of the planets into inner terrestrial and outer gaseous giant planets is explained by the migration of solid matter from the outer regions of the cloud to the inner regions. The existence of Oort cloud is explained by the division of the pre-solar nebula into a ball-shaped inner cloud and an expanding spherical gaseous shell by the path of the shock wave from the first explosion. The expanding shell gradually slowed down due to the rarified outer gaseous masses and stopped at a distance of approximately 1 light year. Trillions of comets formed from the dust and frozen gases it contains. The orbit and the mass of planet Neptune can be explained as result of the interaction between the returning wave from the Oort cloud and the outer edges of the ball-shaped cloud. According to modern theories, many of the recently discovered exoplanetary systems would not be able to exist; the suggested concept makes it possible to explain their origin and evolution, and even help search for new planets.

Реферат

В данной статье предложена новая концепция возникновения планет, позволяющая объяснить большинство наблюдаемых фактов как для солнечной системы, так и для экзопланетных систем. Наиболее распространенная небулярная гипотеза Канта-Лапласа об образовании

¹ Alfa-Carbon® Beck, Berlin, Germany

планет из вращающегося газопылевого протооблака не может ответить на многие вопросы о происхождении Солнечной Системы. По новой концепции при начале термоядерной реакции в центре протосолнца происходит взрыв и через протооблако проходит ударная волна, которая вернувшись в центр вызывает новый взрыв и новую волну. В результате периодических взрывов в протооблаке устанавливается сферическая стоячая звуковая волна, в пучностях которой происходит концентрация пыли. В дальнейшем пыль собирается во вращающиеся кольца, из которых образуются планеты. Расстояния между пучностями стоячей волны определяются давлением газа и силой притяжения протосолнца и примерно соответствуют правилу Тициуса-Боде, которое таким образом получает физическое объяснение. Очень малый момент импульса Солнца (0,5%) и наклон экваториальной плоскости (7°) появляются из-за несимметричности первого самого мощного взрыва. Разделение планет на внутренние земледобные и внешние газовые планеты-гиганты объясняется миграцией твердого вещества из внешних областей облака во внутренние. Существование облака Оорта объясняется разделением протооблака на шарообразное внутреннее облако и удаляющуюся от него сферическую газовую оболочку при прохождении ударной волны от первого взрыва. Расширяющаяся оболочка постепенно тормозится разреженными внешними газовыми массами и останавливается на расстоянии около 1 светового года, из пыли и замерзших газов в нем образуются триллионы кометных тел. Приводится объяснение орбиты и массы планеты Нептун как результат взаимодействия обратной волны из облака Оорта с внешней границей шарообразного облака. Многие из открытых в последнее время экзопланетных систем по представлениям современных теорий не могут существовать, предложенная концепция позволяет объяснить их происхождение и эволюцию, а также помочь в поиске новых планет.

1. Введение

Классическая теория возникновения Солнечной системы основывается на небулярной гипотезе Канта-Лапласа о протопланетной туманности, по которой Солнце и планеты возникли в процессе сжатия вращающегося облака газа и пыли (Кант (1755), Лаплас (1796)). В процессе сжатия вращение облака ускоряется (пируэт-эффект) и из-за влияния центробежной силы облако принимает форму диска. В центре облака появляется сильно сжатая и горячая область газа – протосолнце. Концентрация и слипание отдельных частичек пыли во вращающемся пылевом диске приводит к образованию планет, вращающихся вокруг Солнца.

Данная теория показывает общий характер процесса возникновения Солнечной системы, но не может объяснить многие наблюдаемые факты. Одной из проблем является распределение вращательного импульса: Солнце обладает более 99,8% массы всей системы, имеет в то же время лишь около 0,5% импульса вращения, остальные 99,5% приходятся на вращающиеся вокруг него планеты. Для классической теории это является практически непреодолимым парадоксом. Также необъясним наклон в 7° экваториальной плоскости Солнца по отношению к средней плоскости вращения планет.

Другой серьезной проблемой является разделение планет на имеющие твердую поверхность небольшие внутренние планеты и внешние газовые планеты-гиганты: в исходной газопылевой туманности вещество было распределено равномерно по всему объему и образовавшиеся планеты не должны были бы сильно отличаться друг от друга по химическому составу.

Не находит объяснения подмеченная закономерность в расстояниях планет от Солнца, так называемое правило Тициуса-Боде, описывающее в одной эмпирической формуле примерное расположение планет в Солнечной системе. Эта закономерность наблюдается также во многих экзопланетных системах, открытых в последнее время, и вероятно связана с проявлением общих физических процессов при образовании планетных систем.

Трудно объяснить существование за пределами планет Солнечной системы облака Оорта, состоящего из триллионов небольших объектов из водяных, аммиачных, метановых льдов и пыли. Считается, что эти объекты были выброшены планетами-гигантами на стадии формирования системы планет и получили далекие, около 1 светового года, круговые орбиты в результате гравитационного притяжения окружающих звезд. Подобный сценарий возникновения облака Оорта представляется очень маловероятным для такого большого количества тел.

Планета Нептун является самой далекой газовой планетой и исходя из убывающего ряда масс планет-гигантов: Юпитер – 318 M_{\oplus} , Сатурн – 95,3 M_{\oplus} , Уран – 14,5 M_{\oplus} можно было бы ожидать, что Нептун должен обладать массой в несколько раз меньшей, чем Уран. Это распределение по массам можно объяснить убывающей от центра к периферии плотностью газовой туманности, так что на каждую следующую планету приходится меньше газообразного вещества, чем на предыдущую. В действительности Нептун имеет массу 17,5 M_{\oplus} , большую, чем масса предыдущей планеты Уран.

Многие авторы, среди них Chamberlin (1901), Moulton (1905), Schmidt (1944), von Weizsäcker (1944), McCrea (1960), Woolfson (1964), Safronov (1972), предлагают различные сценарии образования Солнечной системы и пытаются объяснить отдельные проблемы возникновения и эволюции планет, развивая небулярную гипотезу или гипотезу близкого прохождения двух или нескольких тел. Однако ни одна из существующих теорий не в состоянии дать комплексную и не противоречащую физическим принципам картину возникновения и развития планетных систем, а многочисленные варианты теорий сближающихся и затем расходящихся звезд и туманностей могут дать лишь очень низкую оценку количества планетных систем, так как такие события должны происходить редко. Открытие в последнее время большого количества экзопланет (1816 подтвержденных планет на февраль 2015, NASA Exoplanet Archive¹) дает основания прогнозировать количество планет в нашей галактике во многие миллионы, что с новой остротой ставит вопрос о понимании реальных процессов, приводящих к возникновению планетных систем.

В данной статье приводится новая концепция возникновения Солнечной Системы из газопылевого протооблака в поле стоячей звуковой волны, учитывающая наибольшее количество наблюдаемых фактов и дающая им объяснение, опираясь исключительно на известные физические законы.

¹ <http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>

2. Теоретическое построение

2.1 Сферическая стоячая звуковая волна

Общепринятым считается, что при достаточно сильном разогреве в результате гравитационного сжатия в центре протосолнечного облака начинается термоядерная реакция превращения водорода в гелий. При этом выделяется большое количество энергии и лучевое давление останавливает дальнейшее сжатие облака газа. Процесс начала термоядерной реакции однако не может происходить спокойно, так как в этот момент еще отсутствует равновесие между силами гравитации, стремящимися сжать облако, и возрастающим в результате повышения температуры давлением газа. Наибольшую температуру имеет относительно небольшая область в центре сжимающегося протосолнечного облака, здесь и начинается термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Над этой небольшой центральной областью находится значительно большая по объему область газа с температурой и давлением еще не достигающими критических значений, но уже очень близко приближаются к ним. Еще дальше от центра имеются гигантские количества водорода с температурой хотя и существенно меньшей, чем в центре, но все же исчисляющейся миллионами градусов при довольно большом давлении.

Начавшаяся в центре газового облака термоядерная реакция приводит к быстрому повышению температуры и давления в прилегающих слоях, в которых также начинается термоядерная реакция горения водорода. Происходит взрыв, в результате которого из центральной области начинает распространяться сферическая ударная волна. На фронте ударной волны температура и давление газа резко повышаются так, что во все большей массе газа начинается детонационное горение водорода с выделением все большего количества энергии, которая в свою очередь подпитывает саму ударную волну и придает ей все большую силу. Через некоторое время ударная волна достигает областей не столь сильно разогретых и с меньшей степенью сжатия газа, в которых термоядерные реакции не могут развиваться при прохождении фронта ударной волны. Ударная волна однако к этому моменту уже накопила гигантское количество энергии и продолжает удаляться дальше от центра протооблака к периферии. Конкретный механизм взрыва и протекающие при этом термоядерные реакции в этой статье не рассматриваются, важно лишь отметить, что мощность взрыва должна быть достаточно большой, чтобы ударная волна распространилась на все протооблако.

По мере удаления волны от центра ее интенсивность уменьшается пропорционально квадрату расстояния, амплитуда колебаний газовых частиц однако растет из-за уменьшения плотности газа. При распространении волны частицы газа в протооблаке совершают колебательные движения в радиальном направлении, причем движение происходит под действием двух причин. Во-первых, как и при распространении звука в земной атмосфере, за счет разности давлений в газе, во-вторых за счет гравитационного притяжения к центру облака, причем как давление, так и гравитационное притяжение существенно различны в крайних положениях колебаний частичек газа, так как речь здесь идет о смещениях во многие миллионы километров. Второй фактор начинает играть решающую роль на больших расстояниях от центральных притягивающих масс: в какой-то момент ускорившиеся на фронте волны частицы газа уже не могут вернуться назад за счет гравитационного притяжения. Плотность газа здесь уже настолько мала, что разность давлений также не может обеспечить возвратное движение частичек газа.

Происходит отрыв периферийной части и протопланетное облако разделяется на центральную шарообразную часть и удаляющуюся от него сферическую оболочку.

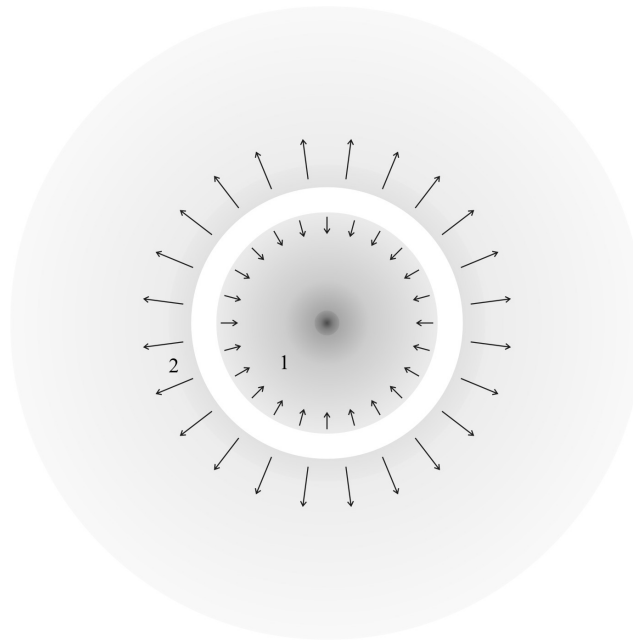


Рис.1. Разделение протооблака на шарообразное центральное газовое облако 1 и удаляющуюся сферическую оболочку 2.

Частицы газа на границе центрального шарообразного облака падают под действием гравитационного притяжения в направлении центра, останавливаются, когда давление нижележащих слоев газа превысит силу гравитационного притяжения и начинают двигаться в обратном направлении. В результате взаимодействия силы гравитационного притяжения и противодействия сжимающегося газа граница шарообразного облака начинает колебаться в радиальном направлении и от периферии к центру распространяется сферическая обратная волна, которая повторяет путь прямой волны с соответствующими изменениями длины волны и с возрастающей интенсивностью. Происходит как-бы отражение звуковой волны от «гравитационной стенки» - сферической области, где скорости частичек газа недостаточно велики, чтобы преодолеть гравитационное притяжение центральной части протосолнечного облака и, сместившиеся в результате колебательных движений в направлении от центра частицы газа возвращаются назад, то есть их скорости меньше скорости убегания:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}},$$

где G – гравитационная константа, M – масса притягивающего центра, r – расстояние от центра.

В центре протооблака после первого мощного взрыва наступает затишье: разогретая в результате выделения большого количества энергии центральная часть расширяется, так как гравитация еще недостаточно сильна, чтобы противостоять сильно возросшему газовому давлению и термоядерная реакция горения водорода затухает. Значительная масса газа (10-30% общей массы) оказывается выброшенной в окружающее пространство и в центре остается компактная область сжатого и разогретого газа -

протосолнце. Через несколько сотен лет обратная волна от границы шарообразного облака доходит до протосолнца, концентрируется в центре и затем снова начинает распространяться к периферии. При этом в результате резкого увеличения давления в центре протосолнца повышается температура и происходит новый взрыв водорода, намного более слабый, чем первый, но достаточный, чтобы придать дополнительную энергию отраженной от центральной области волне. Отраженная волна проходит весь путь от центра шарообразного облака к периферии, отражается от «гравитационной стенки» и снова возвращается назад, вызывая еще один взрыв. Этот процесс повторяется многократно и со временем устанавливаются регулярные колебания: волна распространяется от центра к краю, отражается от границы шарообразного облака, возвращается назад и вызывает очередной взрыв, компенсирующий волне потери энергии. Волна провоцирует взрывы, получая при этом необходимую для себя энергию. Устанавливается автоколебательный процесс, период колебаний при этом задается свободными колебаниями границы шарообразного облака и составляет сотни лет.

Давление звуковой волны препятствует гравитационному сжатию протооблака и исправляет отклонения формы от сферической, возникающие, например, из-за вращения облака или турбулентных движений газа. Волны, распространяющиеся от центра к периферии и обратные волны интерферируют между собой и фактически образуются гигантский сферический звуковой резонатор размером с нынешнюю солнечную систему включая пояс Койпера. В этом резонаторе устанавливается стоячая волна с узлами и пучностями, число которых для протосолнечной системы должно быть не меньше десяти: 8 планет + пояс астероидов + пояс Койпера.

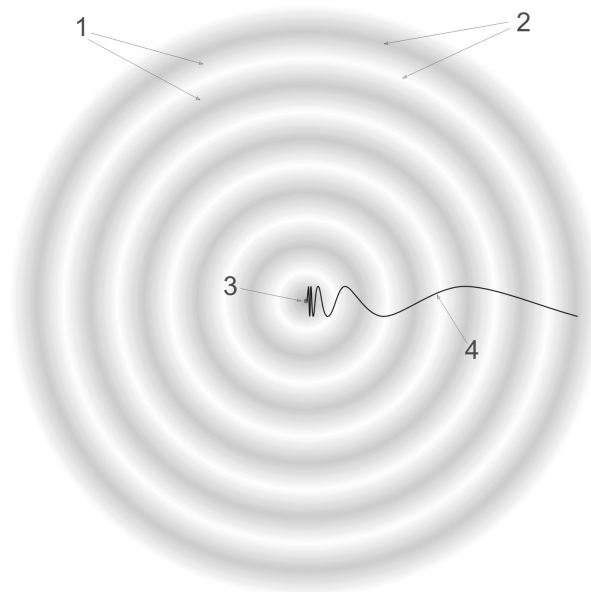


Рис.2. Стоячая волна в протосолнечном облаке, 1 – узлы, 2 – пучности (сжатия и расширения газа), 3 - протосолнце. Для наглядности узлы и пучности расположены равномерно, в действительности расстояния между ними сильно увеличиваются по мере удаления от центра: 4 – волна в реальном масштабе.

Точный расчет расстояний между пучностями стоячей волны в рамках этой статьи не приводится, можно сказать однако, что длина звуковой волны увеличивается по мере

удаления от притягивающего центра. В разделе [3.4] приведены некоторые закономерности, позволяющие сделать определенные выводы о физической обоснованности расположения планет солнечной системы.

2.2 Концентрация пыли в пучностях

В «звучащем» состоянии протосолнечная система может находиться многие миллионы лет, так как периодические взрывы в центре существенно замедляют гравитационное сжатие протосолнца, а давление звуковой волны стабилизирует газовое облако, предотвращая его коллапс. Пыль, присутствующая в протосолнечном облаке, постепенно собирается в пучностях звуковой колебательной системы. В процессе концентрации твердых частичек в стоячей волне наряду с вязкостью газа важную роль играет притяжение больших масс газа, периодически возникающих в областях сжатия (пучностях) стоячей волны. Под действием этого притяжения пылевые частицы движутся в направлении скопления масс газа в пучностях, сталкиваются между собой, при этом происходит перераспределение векторов их скоростей таким образом, что частицы пыли останавливаются в середине пучности.

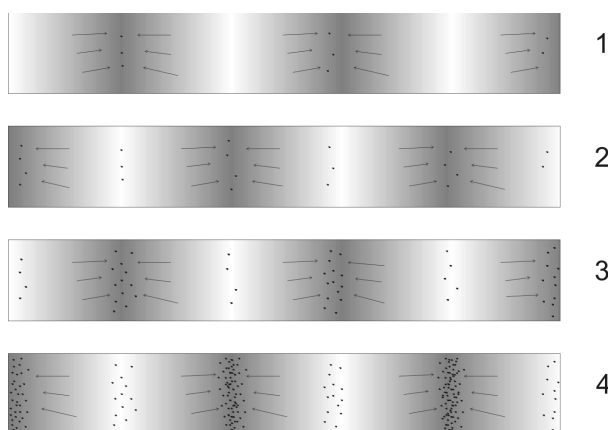


Рис.3. Концентрация пыли в пучностях стоячей волны во время последовательных фаз 1 - 4. Темным областям соответствует сжатие газа в пучностях, светлым - расширение.

В фазе расширения газа в пучности частички пыли испытывают гравитационное притяжение от двух соседних пучностей, где в этот момент газ находится в фазе сжатия. Притяжения этих пучностей в значительной степени взаимно компенсируют друг друга и кроме того они находятся далеко, поэтому частички пыли в фазе расширения газа остаются практически на месте. В следующей фазе сжатия новые количества пыли притягиваются в область пучности и также останавливаются вследствие столкновений между собой и вязкости сжатого газа.

2.3 Миграция твердого вещества и образование колец

Через некоторое время после установления стоячей волны большая часть пыли будет сконцентрирована в сферических зонах пучностей. Из-за возросшей концентрации пыли значительно увеличивается число столкновений частичек пыли между собой, что приводит к их слипанию и росту размеров и массы. Во вращающемся протопланетном облаке на частички пыли действует центробежная сила, которая достигает наибольших

значений в экваториальной плоскости. В результате совместного действия гравитационного притяжения пучностей и центробежной силы происходит концентрация пыли в экваториальные кольца, радиусы которых соответствуют пучностям стоячей звуковой волны (Рис. 4). Увеличение массы сгустков твердых частичек приводит также к тому, что им все труднее становится удерживаться в пучностях стоячей звуковой волны, так как одновременно они испытывают притяжение центральных масс газа. Наиболее крупные сгустки пыли падают к центру: происходит миграция твердого вещества из внешних областей протопланетного облака во внутренние, причем из-за действия центробежной силы падение отклоняется от прямого направления на протосолнце.

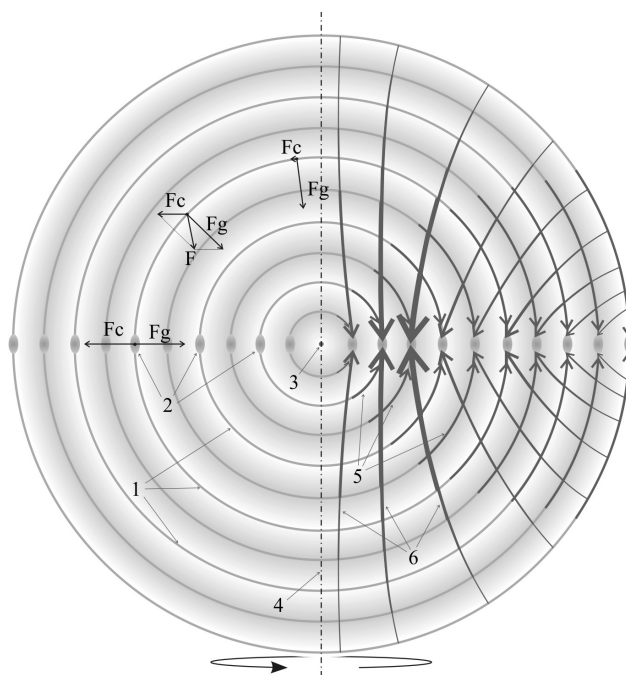


Рис.4. Миграция твердого вещества в шарообразном облаке. F_g – гравитационное притяжение к центру, F_c – центробежная сила, 1 – сферические скопления пыли в пучностях, 2 – скопления пыли в экваториальных кольцах, 3 – протосолнце, 4 – ось вращения облака, 5 – направление миграции пыли в пучностях, 6 – направление миграции крупных сгустков пыли поперек пучностей под действием результирующей силы F .

Притяжение масс газа в пучностях направляет падающее вещество в сторону формирующихся колец в экваториальной плоскости, где оно и останавливается. Значительное количество твердого вещества оказывается в области планет Венера и Земля, так как сюда оно собиралось с большей части объема протопланетного облака.

Собравшаяся в компактные кольца пыль имеет в тысячи раз большую концентрацию, чем в первичном газопылевом облаке, это значительно ускоряет слипание частиц между собой и приводит к появлению все более крупных и массивных скоплений пыли. Сгустки слипшейся пыли в узких вращающихся кольцах движутся по практически одинаковым круговым орбитам вокруг протосолнца и имеют очень небольшие относительные скорости. Столкновения между ними не приводят к дроблению и

сравнительно быстро образуются крупные и массивные планетезимали, которые в свою очередь объединяются между собой вплоть до образования планет и их спутников. Каких-либо катастрофических столкновений между образующимися планетами, их спутниками или другими массивными объектами при этом не происходит, планеты сохраняют круговые орбиты и плоскости экваториальных пылевых колец.

2.4 Рождение Солнца

Гравитационное сжатие протосолнца, сильно замедлившееся в результате регулярных взрывов в центре, тем не менее продолжается и через миллионы лет после установления стоячей звуковой волны температура газа в центре протосолнца поднимается настолько высоко, что термоядерная реакция превращения водорода в гелий идет также и в промежутках между взрывами: происходит рождение новой звезды – Солнца. Новорожденное Солнце перестает подпитывать звуковую волну энергией периодических взрывов и стоячая волна исчезает. Удерживаемая до этого времени звуковым давлением газовая оболочка начинает сжиматься и вокруг уже сформировавшихся твердых ядер-зародышей образуются газовые планеты-гиганты. На долю Юпитера при этом пришлась наибольшая масса, так как он находился в области с большой плотностью газа, остальные газовые планеты были расположены в среде с меньшей плотностью и получили соответственно меньшую массу. Юпитер получил также большие количества газа из области внутренних планет, откуда они были сдуты сильным солнечным ветром в первые миллионы лет после рождения Солнца.

2.5 Облако Оорта

Сферическая расширяющаяся оболочка, отделившаяся от шарообразной части облака при прохождении ударной волны от первого взрыва, имеет скорость движения больше скорости убегания v_e и не может вернуться к центру под действием слабого на таком расстоянии гравитационного притяжения центральных масс. По мере расширения эта сферическая оболочка собирает перед собой все большие массы сильно разреженного газа из первичного облака, при этом скорость расширения постепенно замедляется и в конце концов ее расширение останавливается на расстоянии около 1 светового года от центра. Образуется гигантская сферическая область, содержащая помимо газообразных водорода и гелия также частички пыли, водяного льда и замерзших газов. Со временем газовая составляющая оболочки рассеивается в пространстве, а твердые частички собираются во все более крупные глыбы льда и пыли и образуют облако Оорта (Oort (1950)), находящееся в слабой гравитационной связи с центральной частью системы.

2.6 Пояс Койпера и Нептун

После остановки расширения газовой оболочки в области Оорта в ней появилась слабая обратная волна, движущаяся в сторону центрального шарообразного облака газа, в котором к этому времени уже зародились планеты. Через сотни тысяч или миллионы лет обратная волна из облака Оорта столкнулась с внешней границей центрального шарообразного облака газа и вещество на границе солнечной системы перераспределилось. Большие массы газа из внешней пучности стоячей звуковой волны сместились и планета Нептун образовалась несколько ближе к Солнцу, а ее масса увеличилась в несколько раз за счет обратной волны из облака Оорта. На месте внешней пучности стоячей звуковой волны к тому времени уже образовались малые планеты нынешнего пояса Койпера. Они имели уже слишком большую массу, чтобы быть смещенными на орбиту Нептуна, в их движении однако произошли существенные

изменения. Малая планета Эрис стала двигаться по очень вытянутой орбите, так как она длительное время находилась под воздействием притяжения масс газа обратной волны из облака Оорта, другие малые планеты пояса Койпера также получили значительные эксцентриситеты. Процессы на периферии проходили очень медленно, в течение многих сотен тысяч или миллионов лет и были сравнительно слабыми, чтобы оказать влияние на центральную область протосолнечной системы. Действие обратной волны из облака Оорта ограничилось образованием пояса Койпера, смещением места образования и увеличением массы планеты Нептун, на остальную часть солнечной системы область облака Оорта влияла и продолжает влиять сейчас лишь через кометы.

3. Обсуждение

3.1 Планеты земной группы и планеты-гиганты

Различие в химическом составе внутренних и внешних планет объясняется миграцией твердого вещества из внешних сферических оболочек во внутренние. Прежде чем собраться в стабильные вращающиеся пылевые кольца, тяжелые химические элементы смогли пройти большой путь к центру системы и вошли в состав внутренних планет, причем на Землю+Луну и Венеру пришлось большее количество вещества, а на Меркурий и Марс меньшее. Для области между Марсом и Юпитером осталось так мало твердого вещества, что на полноценную планету его не хватило, образовались лишь малые планеты пояса астероидов. Более легкие и летучие химические соединения, такие как вода, метан или аммиак, из-за близости к протосолнцу не могли существовать в сконденсированном состоянии, они в значительных количествах остались в более холодных областях за пределами пояса астероидов и стали зародышами планет-гигантов.

3.2 Вращение Солнечной системы

Первый мощный взрыв в центре протосолнца не был абсолютно симметричным, небольшая асимметрия взрыва привела к перераспределению момента импульса в газовом протооблаке: менее массивная периферийная часть протооблака стала вращаться быстрее, получив значительное приращение импульса от выброшенной при взрыве массы газа. Кроме того планетная система получила наклон экваториальной плоскости в 7° относительно плоскости вращения Солнца. Солнце при этом в соответствии с законом сохранения момента импульса стало вращаться несколько медленнее, его нынешнее вращение однако примерно соответствует исходной скорости вращения протооблака.

Сейчас более 99,8% всей массы Солнечной системы заключено в Солнце, однако Солнце обладает менее чем 0,5% всего момента вращения системы. Если распределить энергию вращения на исходное протооблако, то с учетом пирюэт-эффекта вращение будет в тысячи или миллионы раз медленнее, чем вращение планет сейчас. В протооблаке момент импульса изначально был распределен равномерно, это означает, что при таком слабом вращении образование пылевого диска по небулярной гипотезе невозможно.

На снимках некоторых молодых звезд однако такие диски видны, причем в отдельных случаях в них можно различить внутреннюю структуру (Рис. 5). Если рассматривать описываемые в данной статье сферические скопления пыли со стороны, то отдельные

сферы увидеть будет невозможно, так как они перекрываются по лучу зрения. В стадии, когда значительные количества твердого вещества уже скопились в экваториальной плоскости, такая система будет выглядеть как диск, несмотря на то, что между отдельными кольцами имеются значительные промежутки.

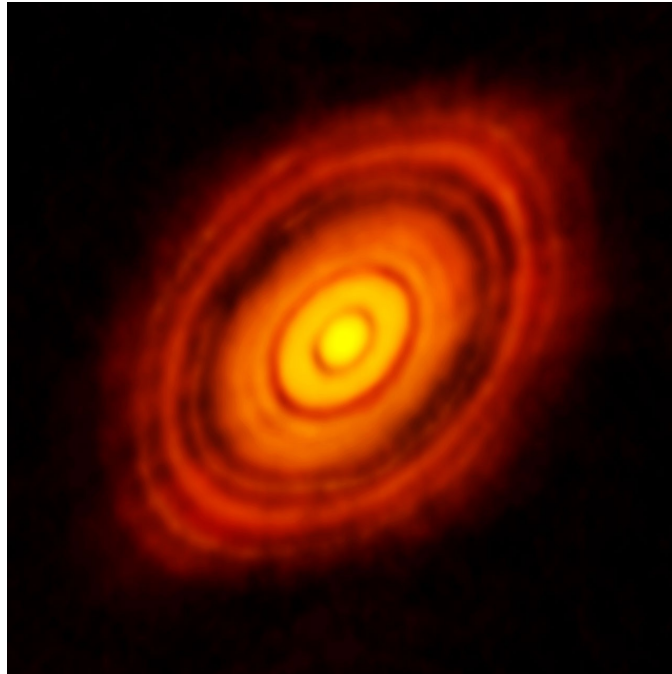


Рис.5. Полученное на ALMA¹ изображение протопланетного пылевого облака вокруг HL Tauri.

3.3 Экзопланетные системы

Вообще говоря, взрыв в протозвездном облаке может как ускорить вращение газовой оболочки вокруг будущей звезды, так и замедлить или даже придать ей вращение в противоположную сторону. Последний случай наблюдается в некоторых экзопланетных системах (Narita (2009), Winn (2009) (2010a), Triaud (2010), Queloz (2010), Bayliss (2010), Hébrard (2011)) и до сих пор не мог быть объяснен в рамках классической теории, так как считалось, что планеты и центральная звезда всегда должны вращаться в одном направлении, заданном вращением протозвездного диска.

Асимметрия взрыва в центре протозвезды может также привести к очень сильному наклону экваториальной плоскости планетной системы, наклоны в 45° или 90° не должны быть невозможными (Pont (2010), Simpson (2010), Winn (2010b), Hirano (2010)).

В том случае, если после первого мощного взрыва вращение газопылевого облака вокруг протозвезды значительно замедляется или совсем останавливается, образование планет становится невозможным и, несмотря на возникновение сферической стоячей

¹ ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), <http://www.eso.org/public/archives/images/screen/eso1436a.jpg>

волны и наличие пыли, на месте такого протозвездного облака образуется одиночная звезда.

3.4 Предпосылки для физико-математической модели Солнечной системы

Представляет интерес построение физико-математической модели стоячей волны в шарообразном газовом протопланетном облаке. Колебания здесь происходят в условиях, когда гравитационное притяжение и давление газа существенно изменяются в пределах длины волны (по радиусу). Можно предположить, что длина волны будет обратно пропорциональна произведению средних значений ускорения свободного падения \mathcal{G} , которое обратно пропорционально квадрату расстояния от центра притяжения, и давления P , которое в свою очередь зависит от \mathcal{G} :

$$\lambda \sim \frac{1}{g \times p}, \quad \text{или, предположив, что } p \sim g: \quad \lambda \sim r^4,$$

где λ – длина звуковой волны, \mathcal{G} и P – средние значения ускорения свободного падения и давления газа, r – расстояние от центра.

На Рис.6 представлено распределение планет по расстояниям от Солнца, Нептун не отмечен на графике по причинам изложенным в разделе [2.6], его место занимает Плутон. Планеты зародились в пучностях, поэтому график показывает также распределение стоячей волны в протопланетном газовом облаке.

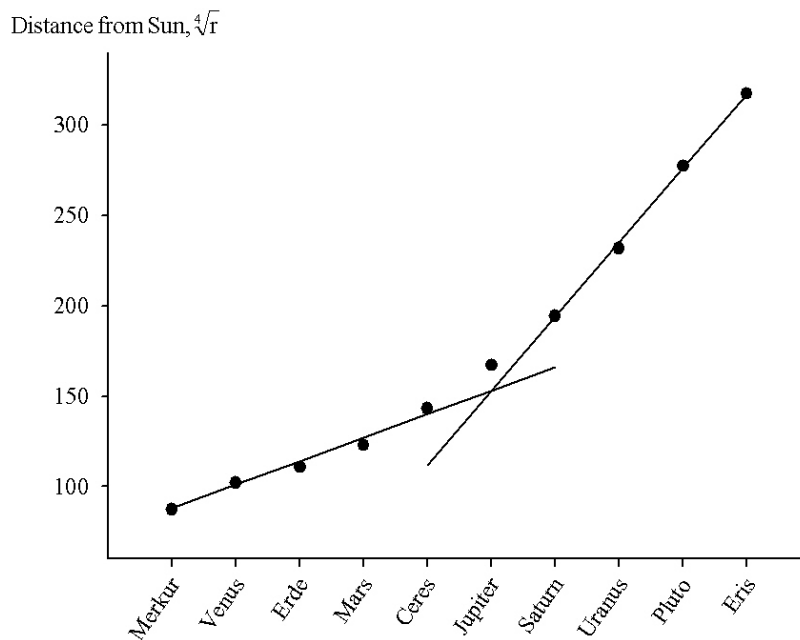


Рис. 6. Распределение планет по расстояниям от Солнца. По вертикальной оси отложены значения расстояний в километрах как корень четвертой степени.

Можно видеть, что точки на графике аппроксимируются прямыми линиями, это подтверждает предположение о зависимости расположения пучностей стоячей волны от r^4 . Ближе к Солнцу длина волны отклоняется в сторону увеличения, это можно объяснить тем, что скорость звуковой волны растет с ростом температуры газа:

$$c \sim \sqrt{T}, \quad \lambda = \frac{c}{f}, \text{ следовательно, при } f = \text{const} : \quad \lambda \sim \sqrt{T}$$

где C – скорость звуковой волны, T – температура, λ – длина и f – частота звуковой волны.

Предположение о зависимости $\lambda \sim r^4$ дает предпосылки для построения комплексной физико-математической модели зарождения и развития Солнечной системы, а также планетных систем у других звезд. Такая модель может помочь в поиске экзопланет, предсказывая возможные местоположения дальнейших планет у звезд, для которых уже обнаружены некоторые планеты.

4. Выводы и заключение

По предлагаемой концепции возникновения планет из газопылевого протооблака в поле стоячей звуковой волны планетные системы могут иметься только у одиночных звезд или у кратных звезд с большими расстояниями между отдельными компонентами. В системах с тесными звездными компонентами из-за движения звезд обратная волна после взрыва в центре одной из звезд не сможет вызывать дальнейшие периодические взрывы и затухнет, а газопылевое облако, не стабилизируемое полем стоячей звуковой волны, сравнительно быстро аккрецирует на центральные звезды без образования планет.

Существующие теории возникновения планетных систем, в том числе гипотезы Канта и Лапласа, предполагают вращение исходного протооблака, без которого невозможно образование пылевого диска вокруг центральной звезды. Предложенная концепция делает такое предположение не обязательным. В случае невращающегося протооблака после первого несимметричного относительно центра масс взрыва центральная протозвезда и периферийные массы газа получают одинаковые, но противоположные по знаку моменты импульса. Газопылевое облако при этом начнет вращаться, одновременно в нем образуется стоячая звуковая волна и начнется процесс образования планет. В получившейся планетной системе центральная звезда и планеты будут вращаться в противоположных направлениях, что однако не противоречит наблюдаемым фактам (см. раздел 3.3).

Предложенный сценарий образования планетной системы позволяет ответить на многие открытые вопросы происхождения и эволюции планетных систем. Ниже приведены некоторые известные факты и их объяснения в рамках данной концепции.

4.1 *Расстояния планет от солнца выглядят не случайными, а подчиняющимися некоторым закономерностям (правило Тициуса-Бодде).*

Планеты образуются в пучностях гигантской стоячей звуковой волны, возникающей после мощного термоядерного взрыва в центре протосолнца и многократного

прохождения прямой и обратной звуковых волн в шарообразном протопланетном газопылевом облаке.

4.2 Имеются небольшие внутренние силикатные планеты и внешние газовые планеты-гиганты. Гипотеза вращающегося протопланетного диска не может объяснить такое распределение планет, так как во вращающемся диске вся масса пыли подвержена действию центробежной силы, препятствующей миграции вещества.

Разделение планет на внутренние и внешние объясняется миграцией к центру твердого силикатного вещества из сферических зон концентраций пыли в пучностях стоячей волны.

4.3 Солнце заключает в себе >99,8% массы, обладает однако лишь 0,5% момента импульса солнечной системы.

В результате несимметричности первого взрыва в центре протосолнца произошло перераспределение момента вращения: периферийная часть газопылевого облака значительно ускорила свое вращение, получив приращение момента импульса от выброшенной при взрыве из протосолнца большой массы газа (~ 0,1 – 0,3 массы Солнца).

4.4 Плоскость экватора Солнца имеет наклон в 7° по отношению к усредненной плоскости планетарных орбит.

Экваториальная плоскость планетной системы получила наклон во время первого мощного взрыва в центре протосолнечного облака из-за небольшой асимметрии взрыва.

4.5 Облако Оорта является источником комет, посещающих внутренние области солнечной системы. Его существование хотя и не подтверждено непосредственными наблюдениями, но все-же очень вероятно.

Расширяющаяся оболочка, отделившаяся от внутренней части протооблака при прохождении ударной волны от первого взрыва собирает перед собой большие массы разреженного газа и останавливается на расстоянии около 1 светового года от солнца, образуя сферическую область, в которой формируются кометы – облако Оорта.

4.6 Планета Нептун находится ближе к Солнцу, чем это следует из распределения Титцуса-Боде.

Нептун был смещен в сторону Солнца обратной волной из облака Оорта.

4.7 Масса планеты Нептун (17,5 M_{\oplus}) существенно больше, чем можно было бы ожидать исходя из убывающей последовательности масс Юпитера (318 M_{\oplus}), Сатурна (95,3 M_{\oplus}) и Урана (14,5 M_{\oplus}).

Нептун получил значительное, в несколько раз, прибавление массы от обратной волны из облака Оорта.

5. Благодарности

Автор приносит благодарности своей жене Светлане, а также фирме Alfa-Carbon® Beck за большую помощь в подготовке статьи. This research has made use of the NASA Exoplanet Archive, which is operated by the California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration under the Exoplanet Exploration Program.

References

- Bayliss, D., Winn, J., Mardling, R., Sackett, P. 2010, *ApJ*, 722, L224
Chamberlin, T. C. 1901, *Astrophys. J.* 14, 17
Hébrard, G., Ehrenreich, D., & Bouchy, F. et al. 2011, *A&A*, 527, L11
Hirano, T., Narita, N., Shporer, A., et al. 2010, *PASJ*, sub. [arXiv:1009.5677]
Kant, I. 1755, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (Königsberg: Petersen)
Laplace, P. S. 1796, *Exposition du Système du Monde* (Paris: Imprimerie Cercle-Social)
McCrea, W. H. 1960, *Proc. R. Soc.* 256, 245
Moulton, F. R. 1905, *Astrophys. J.* 22, 165
Narita, N., Sato, B., Hirano, T., Tamura, M. 2009, *PASJ*, 61, L35
Oort, J. 1950, *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 11, 91
Pont, F., Endl, M., Cochran, W. D., et al. 2010, *MNRAS*, 402, L1
Queloz, D., Anderson, D., Collier Cameron, A., et al. 2010, *A&A*, 517, L1
Safronov, V. S. 1972, *Evolution of the Protoplanetary Cloud*. (Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations)
Schmidt, O. Y. 1944, *Dokl. Akad. Nauk. SSSR* 45, No. 6, 229
Simpson, E. K., et al. 2010, *MNRAS*, sub. [arXiv:1011.5664]
Triaud, A., Collier Cameron, A., Queloz, D., et al. 2010, *A&A*, 524, A25
von Weizsäcker, C. F. 1944, *Z. Astrophys.*, 22, 319
Winn, J. N., Johnson, J. A., Albrecht, S., et al. 2009, *ApJ*, 703, L99
Winn, J. N., Howard, A., Johnson, J., et al. 2010a, *AJ*, 141, 63
Winn, J. N., Johnson, J. A., Howard, A. W., et al. 2010b, *ApJ*, 723, L223
Wolfson, M. M. 1964, *Proc. Roy. Soc.*, A. 282, 485