

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (НОВЫЙ ВЗГЛЯД)

к.т.н. Н.П. Попов

(представил д.т.н., проф. И.М. Приходько)

Излагается гипотеза формирования Солнечной системы, в основу которой положено допущение об образовании ударных волн давления и мощного потока излучения с началом в ядре протозвезды термоядерной реакции.

Постановка проблемы. Звездное небо является важнейшим источником наших знаний о природе. Накопленные сведения о Вселенной имеют большое значение для формирования научного мировоззрения и широко используются в науке, технике, практической деятельности людей. Однако, несмотря на наличие обширных знаний, интерес к ее тайнам не ослабевает. Предметом дискуссий остается механизм образования звезд и их планетных систем.

Анализ литературы. Исследованиям физики и эволюции звезд посвящено большое количество работ. Результаты этих исследований обобщены в обзорах и монографиях [1 – 5], учебниках [6], научно-популярной литературе [8, 9], статьях [10]. К настоящему времени предложено несколько теорий, описывающих процесс образования звезд. Известен ряд гипотез образования Солнца и Солнечной системы в целом. Общим для рассматриваемых гипотез является эволюционное развитие процесса гравитационного сжатия межзвездного вещества, в ходе которого происходит увеличение температуры и плотности вещества звезды до их значений, характерных для существующих звезд главной последовательности. Многие исследователи сходятся на том, что в ходе эволюции вращающегося газопылевого облака (ГПО) образуется допланетный диск, являющийся резервуаром вещества будущих планет. Однако представления о происхождении и ранней эволюции Солнечной системы (СС) до сих пор не приобрели характера законченной теории [6]. Существующие гипотезы образования Солнца и планет неоднозначны. Как отмечается в работе [5], ни наблюдения, ни расчеты пока не позволяют получить удовлетворительную картину образования планетарной системы около одиночных звезд типа нашего Солнца. По-прежнему открытыми остаются такие вопросы, как образование протопланетного облака и механизм образования

планет, расположение орбит планет в плоскости Солнечного экватора и существующее направление обращения планет вокруг Солнца, преимущественно прямое вращение планет, разделение планет на резко различающиеся группы, вариации химического состава планет.

Цель статьи. Целью настоящей работы является попытка, основываясь на ряде допущений и результатах известных исследований, ответить на некоторые из указанных выше вопросов.

Материалы исследования. В основу работы положен сценарный подход к рассмотрению эволюции Солнечной системы [3]. Взаимосвязь процессов образования Солнца и его планетной системы диктует необходимость рассмотрения этих процессов в рамках одной статьи, что объясняет краткость изложения материала. Приводимые ссылки на литературу служат для подтверждения того или иного положения.

В основу предлагаемой гипотезы образования Солнечной системы положено допущение о том, что при возникновении термоядерной реакции в ядре протозвезды (ПЗ) происходит резкое повышение температуры и давления, что приводит к возникновению мощного потока излучения и образованию ударных волн давления в оболочке звезды. Результатом действия давления излучения и ударных волн является появление цепи событий, лежащих в основе дальнейшей эволюции системы.

С учетом принятого основополагающего допущения сценарий образования Солнечной системы представляется следующим.

Раздел 1. Эволюция протозвезды и рождение Солнца. За начало отсчета примем выделение фрагмента повышенной плотности (протозвезды) в медленно вращающемся газопылевом облаке массой $m_0 = (1,1 \dots m_\odot = (1,1 \dots 1,5) \cdot m_\odot$ и угловой скоростью вращения $\omega_0 = 1 \cdot 10^{-13} \dots 1 \cdot 10^{-14} 1/c$, где m_\odot – масса современного Солнца [5]. ГПО состоит из водорода (около 90%), гелия и сложных химических соединений, составляющих основу пылевых частиц (пыли). При наличии центральной (гравитационной) силы $F = m_{гв} \cdot g$ и линейной скорости вращения $u = \omega_0 \cdot r$ частицы облака, расположенные в зоне влияния протозвезды, вовлекаются в движение вокруг нее по эллиптическим орбитам.

Эволюция протозвезды включает несколько стадий различной длительности. На начальном этапе все частицы с перигелием r_p , меньшем радиуса ПЗ, аккрецируются на ее поверхность. В дальнейшем на ПЗ поступают только частицы, траектория которых касается ее поверхности. Под действием силы тяжести и сил сопротивления частицы движутся далее по траектории «спуска» к центру ПЗ. При этом нормальная (к радиусу) состав-

ляющая скорости уменьшается за счет преобразования части кинетической энергии в энергию вращения оболочки ПЗ, а радиальная скорость возрастает до некоторого ее предельного значения. Часть кинетической энергии преобразуется в теплоту. Характер изменения нормальной составляющей скорости u частиц вдоль радиуса ПЗ (в плоскости, перпендикулярной оси вращения) можно представить в виде, показанном на рис. 1.

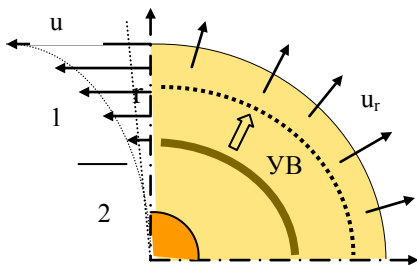


Рис. 1. Схема процессов в g оболочке протозвезды

В приполярных областях движение частиц примерно совпадает с направлением оси вращения ПЗ.

В результате аккреции частиц ГПО масса протозвезды возрастает. По мере роста силы гравитации в орбитальное движение вовлекаются все более дальние слои ГПО. Со временем в центральной области ПЗ образуется конвективное ядро, окруженное оболочкой [2, 3]. Вдали от ПЗ за счет

столкновений частиц ГПО, движущихся по взаимно пересекающимся орбитам, возможно образование вокруг нее сравнительно тонкого пылевого диска.

В процессе формирования протозвезды происходит гравитационная дифференциация, в результате которой пыль и продукты ее испарения перемещаются вглубь оболочки.

Вращающаяся оболочка ПЗ длительное время остается прозрачной для излучения. Светимость ее будет определяться объемом оболочки, температурой газа и концентрацией в ней пыли. По мере роста температуры прозрачность оболочки уменьшается. *Прозрачность оболочки возрастает при испарении содержащейся в ней пыли* [2].

С ростом передаваемого оболочке момента вращения угловая скорость ее слоев будет изменяться от некоторого минимального значения в центральной области до максимального значения на поверхности ПЗ. На конечном этапе формирования изменение линейной скорости вращения слоев ПЗ вдоль радиуса будет соответствовать характеру изменения по радиусу нормальной скорости частиц в ее оболочке (рис. 1). Математически эту зависимость можно представить в виде

$$u = A \cdot r^n, \quad (1)$$

где $A = \text{const}$; $n > 0$.

По имеющимся сведениям [4] линейная скорость вращения поверхностного слоя звезд составляет 20 ... 70 км/с, для некоторых звезд достигает 150 км/с и более.

На конечном этапе эволюции протозвезда имеет форму, близкую к

сферической. В ходе эволюции протозвезды температура и давление в ее центральной области возрастают. Заключительной стадией эволюции протозвезды является возникновение в ее ядре термоядерной реакции слияния водорода с образованием гелия и выделение энергии, равной 26,7 Мэв. Такая реакция становится возможной при температуре водорода порядка $1 \cdot 10^7$ К при плотности порядка 100 г/см^3 и более [7, 8]. Скорость реакции синтеза водорода в этих условиях невелика, поскольку реакция протекает только благодаря квантово-механическому туннельному эффекту. С ростом температуры скорость реакции возрастает. Однако из-за ограничения скорости реакции возникшая термоядерная реакция не носит взрывного характера.

Выделение энергии в ядре сопровождается резким повышением температуры и давления. Расчеты показывают [1], что при малом времени выделения энергии энергия от ядра отводится в форме ударной волны давления и мощного потока излучения.

Одним из последствий возникновения мощного потока излучения является удаление пылевых частиц (пыли) из периферийных слоев оболочки протозвезды и прилегающего пространства по направлению радиуса системы [3].

Возникшая в центральной области сферическая ударная волна (УВ) давления распространяется по самогравитирующему газу оболочки к ее периферии (рис. 1). При движении УВ происходит частичное расширение оболочки ПЗ [7], нагревание, диссоциация и ионизация вещества.

По данным работы [1] на нагревание оболочки расходуется около 99% энергии УВ. Вследствие роста объема пространства и затрат энергии на нагревание вещества давление во фронте УВ по мере ее движения снижается.

При движении УВ ее передний фронт сгребает и уплотняет вещество периферийного слоя оболочки [3]. При подходе фронта УВ к поверхностному слою оболочки (ПСО), где давление вещества будет ниже давления во фронте УВ, происходит срыв ПСО и удаление его в околозвездное пространство. В процессе срыва оболочки возникает отраженная волна, которая переотразившись затем от центральной области звезды, приводит к повторному выбросу вещества с ее поверхности.

Благодаря наличию диссипативных процессов последующие колебания давления быстро затухают. Переходный процесс заканчивается через 4 – 5 колебаний давления. Радиус звезды после сброса оболочки не слишком отличается от первоначального [1]. Результатом переходного процесса является:

- переход внутренних параметров Солнца к устойчивому равновесию с новыми, по сравнению с протозвездой, параметрами и их распределением по радиусу;
- качественное изменение структуры, тепловых, оптических

свойств вещества звезды;

– образование в оболочке плотной плазмы, в результате чего собственное излучение оказывается запертым, светимость звезды определяется свойствами ее поверхности, образуется собственное магнитное поле звезды, определяющую роль в отводе теплоты от ядра начинает играть электронная теплопроводность.

Так рождается новая звезда, каковой и является наше Солнце. В дальнейшем рост массы звезды определяется начальными размерами ГПО.

Раздел 2. Образование протопланетного облака. *Сброшенный основной ударной волной поверхностный слой оболочки удаляется по радиусу системы во всех направлениях. Второй слой вещества протозвезды, сорванный отраженной УВ, движется вслед за первым, догоняя его и частично смешиваясь с ним.*

В соответствие со структурой УВ [1] функция распределения массы вещества по радиусу системы будет иметь максимум, при этом радиальная скорость вещества оболочки изменяется от максимальной на ее внешней границе до минимальной – на внутренней. В движущейся оболочке имеется свой градиент давления, который действует в направлении движения и поэтому препятствует ее торможению гравитационным полем звезды. По мере движения ПСО вследствие увеличения объема пространства происходит его распад на фрагменты (сгустки), при этом снижается средняя плотность вещества.

Высота подъема фрагментов Солнечного вещества определяется величиной начальной скорости и градиентом давления в ПСО. Фрагменты солнечного вещества, скорость которых превышала параболическую в месте выброса, покидают Солнечную систему. Основная масса фрагментов сосредотачивается в шаровом пространстве вокруг Солнца, образуя протопланетное облако (ППО) с верхней границей порядка 100 а.е. и нижней границей, равной радиусу звезды.

Распределение относительной массы вещества по радиусу ППО $\bar{m} = f(r)$ оценим исходя из распределения массы $m_{пл}$ современных планет [8]. На рис. 2 в виде

прямых вертикальных линий показаны значения относительной массы планет

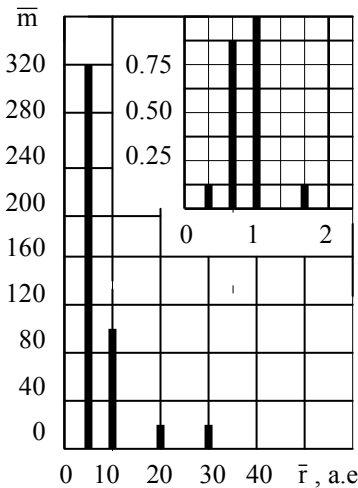


Рис. 2. Распределение массы современных планет по радиусу Солнечной системы

$\bar{m} = m_{\text{пл}} / m_{\oplus}$ (отн. ед.), расположенных на соответствующем относительном расстоянии $\bar{r} = r / r_{\oplus}$ (а.е.) от Солнца, отдельно для планет гигантов и планет земной группы. Используя эти данные, функцию $\bar{m} = f(\bar{r})$ запишем в виде

$$\bar{m} = a \cdot \bar{r}^b \cdot \exp(c \cdot \bar{r}), \quad (2)$$

где a , b , c – постоянные коэффициенты.

Значения коэффициентов в выражении (2) для планет гигантов равны: $a = 4,71$; $b = 3$; $c = -0,5$; для планет земной группы – $a = 60$; $b = 5$; $c = -5,5$.

Распределение средней плотности вещества в облаке $\rho(r)$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) оценим по формуле

$$\rho = \bar{m} \cdot K / (4 \cdot \pi \cdot \bar{r}^2), \quad (3)$$

где $K = 267$ – масштабный множитель.

На рис. 3 приведены графики, построенные по формулам (2) и (3).

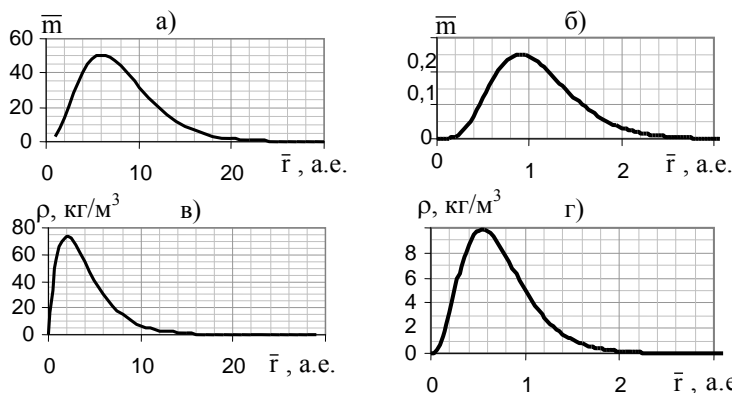


Рис. 3. Изменение относительной массы и плотности вещества планет гигантов (кривые (а) и (в)) и вещества планет земной группы (кривые (б) и (г)) по радиусу ППО

Графики не учитывают массу газа, возвратившегося на поверхность Солнца, удаленного со временем из области планет земной группы, другие потери вещества из ППО. Оценочный расчет показывает, что минимальная средняя плотность вещества в облаке весьма высока. Плотность отдельных фрагментов будет значительно превышать среднюю.

Средняя температура вещества ППО будет изменяться от температуры свыше 1400 К (температура плавления пыли) до температуры на периферии ППО.

Химический состав ППО неоднороден [5]. Его внешние слои содержат большую массу пыли, перемещенной давлением излучения в момент рождения звезды. По этой причине срединные слои будут состоять,

в основном, из водорода. Внутренняя область ППО также содержит значительную массу вещества пыли, что связано с происхождением вещества этой области. После сброса первого поверхностного слоя оболочки, состоящего, в основном, из газовой компоненты (водорода), и второго (глубинного) слоя, обогащенного веществом пыли, газовая компонента под действием излучения, Солнечного ветра и силы притяжения центральных слоев облака постепенно переместилась из внутренних слоев ППО в его центральную область. Отметим здесь, что мощность излучение молодого Солнца на порядок превышала современный уровень [1].

Сказанное объясняет химический состав современных планет.

Раздел 3. Эволюция протопланетного облака, образование планет.

При дальнейшем анализе будем полагать, что вещество ПСО после срыва оболочки не перемешивается, а образующиеся после ее распада фрагменты движутся независимо друг от друга в радиальном направлении, при этом сохраняется геометрически подобная последовательность движения слоев.

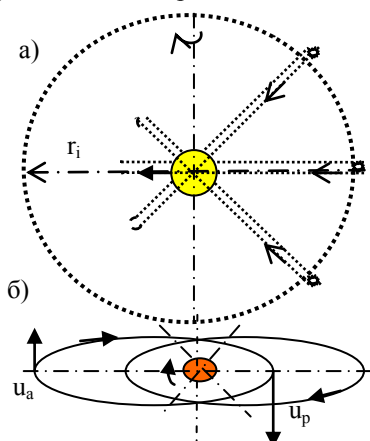


Рис. 4. Схема движения фрагментов ППО вокруг Солнца (а) и в экваториальной плоскости звезды (б)

Фрагменты ППО совершают сложное движение. Картина этого движения представляется следующей. Все фрагменты, принадлежащие заданному поверхностному слою оболочки звезды, поднимаются на максимальную для них высоту и на момент окончания подъема располагаются на сферической поверхности с радиусом r_i (рис. 4).

На этот момент фрагменты будут иметь линейную скорость вращения u_i вокруг Солнца, равную линейной скорости вещества в соответствующем слое оболочки звезды (рис. 1).

Величина u_i зависит от широты сброса вещества β и изменяется по радиусу системы. Для сферы с радиусом r_i линейная скорость вращения изменяется в меридиональном направлении от максимальной скорости на экваторе до нуля на полюсе по закону

$$u_i = \omega_c \cdot r_i \cdot \cos \beta, \quad (4)$$

где ω_c – угловая скорость вращения ПСО.

Изменение линейной скорости вращения фрагментов по радиусу ППО будет соответствовать (с учетом масштаба) характеру ее изменения в оболочке протозвезды (рис. 1), при этом в выражении (1) сохраняется неравенство $n > 0$.

Наблюдения [4] подтверждают подобный характер изменения скорости.

С окончанием подъема под действием центральной силы и при наличии линейной скорости вращения все фрагменты будут двигаться по эллиптическим орбитам с афелием $r_{ai} = r_i$ и перигелием r_{pi} . Скорость фрагмента в афелии равна $u_{ai} = u_i$. Скорость в перигелии u_{pi} определяется параметрами орбиты (рис. 4). Радиусы апоцентра и перигелия орбиты фрагментов связаны с соответствующими скоростями известными соотношениями [11]:

$$u_a = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu_c \cdot r_p}{r_a \cdot (r_a + r_p)}}; \quad u_p = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu_c \cdot r_a}{r_p \cdot (r_a + r_p)}}, \quad (5) \quad r_{a, \text{ а.с.}}$$

где $\mu_c = G \cdot m_c$ – гравитационный параметр Солнца; G – гравитационная постоянная.

Все фрагменты, движущиеся по орбитам с перигелием, меньшим, чем радиус Солнца R_c , аккрецируются на его поверхность (орбита пересекается с поверхностью Солнца). В районах полюсов аккреция вещества происходит в направлении радиуса звезды. Значения радиуса апоцентра r_{amin} определяют внутреннюю границу ППО и ограничивают сверху область пространства, в котором орбиты фрагментов пересекаются с поверхностью Солнца. На рис. 5 представлена зависимость минимального радиуса аккреции (прямые линии со стрелками) от широты места выброса фрагментов. При построении графика минимальное значение перигелия выбиралось равным $r_{p, \text{ min}} = R_c + H_{\text{ min}} = 700\,000$ км, где $H_{\text{ min}} = 4\,000$ км – условная минимальная высота орбиты над уровнем поверхности Солнца. Из графика следует, что с увеличением широты места выброса вещества Солнца величина радиуса r_{amin} возрастает от минимального значения в экваториальной плоскости до бесконечности на полюсах. При этом годограф вектора рассматриваемого радиуса представляет собой вертикальную прямую, пересекающую ось абсцисс при значениях относительного радиуса 1,4; 0,287; 0,19 при скорости выброса соответственно 2, 10 и 15 км/с (прямые 1 – 3).

Из анализа графиков следует, что на некотором этапе эволюции ППО будет представлять собой шар со свободной от вещества цилинд-

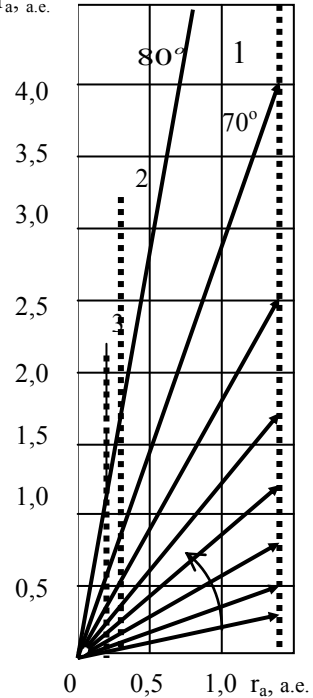


Рис. 5. Нижняя граница ППО после аккреции части вещества на поверхность звезды

дрической полостью с осью, совпадающей с осью вращения звезды. В центре этого образования располагается Солнце. Фрагменты, располагающиеся в слое облака с афелием $r_{ai} > r_{amin}$, будут двигаться по индивидуальным орбитам, образуя картину клубка нитей – орбит.

Из анализа характера движения фрагментов в ППО следует, что:

– движение фрагментов, сброшенных с поверхности Солнца в его северном и южном полушариях, противоположно, причем траектории этих фрагментов пересекаются только с траекториями фрагментов, движущимися в экваториальной плоскости;

– в местах пересечения орбит в экваториальной плоскости создаются условия для силового взаимодействия между фрагментами, происходит увеличение сечения их столкновения, объединение фрагментов и образование протопланет;

– в экваториальной плоскости все фрагменты и образовавшиеся протопланеты движутся в направлении вращения Солнца;

– движение от афелия всех фрагментов, расположенных на условной внешней границе ППО и во внутренних слоях в начальный период, будет происходить одновременно. При этом происходит уменьшение радиуса шарового пространства облака и повышение концентрации фрагментов во внутренней области ППО. При обратном движении от перигелия к афелию наблюдается обратная картина – увеличение диаметра указанного шарового пространства. Это приводит к периодическому изменению диаметра шарового пространства, занимаемого ППО. В общем случае скорость пульсаций будет определяться скоростью вращения звезды.

Приведенная картина движения фрагментов в ППО поддается математическому описанию.

Раздел 4. Вращение планет. Вращение планет, на взгляд автора, связано с закруткой фрагментов в процессе их движения по эллиптическим орбитам внутри протопланетного облака при наличии дисперсии скорости. Пусть в некоторый момент времени два фрагмента располагаются на соседних орбитах 1 и 2 (рис. 6) один над другим на расстоянии Δr по радиусу системы, соизмеримом с размерами фрагментов.

В этой ситуации возможны три характерных случая. В первом случае (рис. 6, а) параметры движения определяются неравенствами:

$$\omega_1 > \omega_2; \quad u_1 > u_2; \quad u_1 / r_1 > u_2 / r_2. \quad (6)$$

При этом условии фрагмент 1 обгоняет фрагмент 2. В результате механического взаимодействия возникает их прямое вращение как в отдельности, так и при их слиянии. Данный случай характерен для движения фрагментов, выброшенных из зоны 1 протозвезды (рис. 1). Во втором случае (рис. 6, б) фрагменты имеют одинаковую угловую скорость, т.е.:

$$\omega_1 = \omega_2; \quad u_1 > u_2; \quad u_1/r_1 > u_2/r_2. \quad (7)$$

При таком распределении параметров относительное движение между фрагментами отсутствует и механического взаимодействия между фрагментами не происходит. Этот случай может иметь место при выбросе фрагментов из глубинных слоев вращающейся протозвезды (зона 2 на рис. 1).

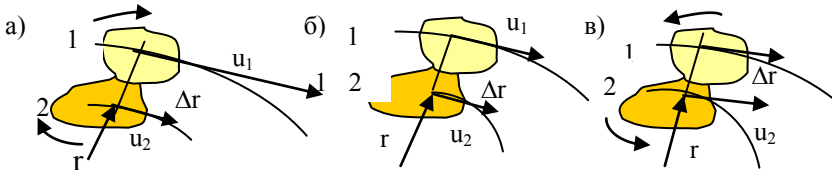


Рис. 6. Варианты взаимодействия фрагментов ППО

В третьем случае условие движения имеет вид: $\omega_1 < \omega_2; u_1 = u_2$.

При таком характере движения второй фрагмент обгоняет первый, а их силовое взаимодействие приводит к возникновению обратного вращения (рис. 6, в). Этот случай может иметь место при выбросе вещества из сильно турбулизированного слоя звезды. Возможно так возникло обратное вращение Венеры.

Приведенная картина развития событий на начальном этапе образования планетной системы в дальнейшем видоизменяется и существенно усложняется. Однако из этой картины просматривается логическая цепь дальнейших преобразований, приводящих к существующему состоянию вещей. Для выявления динамики движения фрагментов ППО и их силового взаимодействия требуется проведение детальных расчетов.

Выводы. Из анализа процессов, происходящих при образовании Солнца и его планетной системы, при принятых допущениях можно сделать следующие выводы:

1. При преобразовании протозвезды в звезду существенную роль играют ударные волны, возникающие с началом термоядерных реакций в ее центральной области. В переходном процессе к устойчивому состоянию устанавливается новое распределение параметров вещества по радиусу, характерное для существующих звезд.

2. Протопланетное облако образовалось в результате срыва поверхностного слоя протозвезды и выброса его в околозвездное пространство. При движении фрагментов облака по эллиптическим орбитам создаются условия для сосредоточения их в экваториальной плоскости, образования планет и прямого обращения планет вокруг Солнца.

3. Приобретение планетной системой значительного момента количества движения является результатом подъема вещества облака на большую высоту над поверхностью Солнца.

4. Наличие двух характерных групп планет объясняется последовательным срывом двух периферийных слоев протозвезды, первый из которых стал источником вещества планет гигантов, второй – планет земной группы. Различия в химическом составе указанных групп планет обусловлены удалением пыли из поверхностного слоя протозвезды в момент рождения звезды, местом срыва второго слоя оболочки и последующего процесса перемещения газа (водорода) из внутренней области протопланетного облака в его центральную область.

5. Прямое вращение планет обусловлено взаимодействием фрагментов, движущихся по соседним в радиальном направлении эллиптическим орбитам, при наличии положительного градиента их угловой скорости.

6. Необходимым условием образования планет является наличие вращения звезды вокруг собственной оси. Невращающиеся звезды не имеют собственных планет.

7. Нарождающиеся звезды имеют примерно одинаковую массу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климшин И.А. Ударные волны в оболочках звезд. – М.: Наука, 1984. – 215 с.
2. Масевич А.Г., Тутуков А.В. Эволюция звезд: теория и наблюдения. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 280 с.
3. Масевич А.Г., Тутуков А.В. Актуальные проблемы теории эволюции звезд / Современные проблемы физики и эволюции звезд / Сб. ст. 1. – М.: Наука, 1989. – С. 5 – 18.
4. Шустов Б.М. Молекулярные ядра и протозвезды / Современные проблемы физики и эволюции звезд / Сб. ст. 1. – М.: Наука, 1989. – С. 21 – 40.
5. Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С. Планеты земной группы: Происхождение и ранняя эволюция. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
6. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии: Учебник. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 500 с.
7. Синельников К.Д., Руткевич Б.Н. Лекции по физике плазмы: Учебное пособие. – Х.: Харьковский Гос. университет им. А.М. Горького, 1964. – 242 с.
8. Бялко А.В.. Наша планета – Земля. – М.: Наука, 1989. – 240 с.
9. Азимов А. Взрывающиеся солнца. Тайны сверхновых. – М.: Наука, 1991. – 240 с.
10. Ласковский М.В., Левин В.А., Седов Л.И.. Периферийный взрыв в самогравитирующем газовом шаре и динамический взрыв равновесия звезды / Механика жидкости и газа. – № 3. – 1998. – С. 157 – 163.
11. Полет космических аппаратов: Примеры и задачи: Справочник / Ю.Ф. Авдеев, А.И. Беляков, А.В. Брыков и др. / Под общ. ред. Г.С. Титова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

Поступила 05.04.2004

ПОПОВ Николай Прокопьевич, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ВНЦ КИ при ХВУ. В 1963 году окончил ХВВКУ. Область научных интересов – термодинамика и теплообмен в авиационной и ракетно-космической технике, окружающей природной среде. Адрес: 61085, Харьков – 85, Украина, ул. Астрономическая, 35-Г, кв. 50. Тел. 199-203.