

Л. Э. ГУРЕВИЧ и А. И. ЛЕБЕДИНСКИЙ

О СВОЙСТВАХ ОБЛАКА, ИЗ КОТОРОГО ВОЗНИКЛИ ПЛАНЕТЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 25 VII 1957)

Ряд закономерностей движения планет (копланарность и почти круговой характер орбит, односторонность вращений и обращений планет вокруг Солнца, наличие закона планетных расстояний и т. д.) дал основание для гипотезы о происхождении планет из облака диффузной материи, окружавшего некогда Солнце. Поскольку процесс гравитационной конденсации возможен в пылевом и невозможен в газовом облаке, окружающем Солнце, то, несомненно, это облако в период, непосредственно предшествовавший образованию планет, должно было быть пылевым. Эти два предположения в настоящее время можно считать бесспорными, а спорным является вопрос о происхождении первоначального облака.

Предположим, что облако вначале было газовым и имело химический состав, близкий к составу звезд, а массу и момент количества движения, близкие к суммарным массе и моменту современной планетной системы. В результате конденсации металлов и тугоплавких веществ в мелкую пыль это облако должно было стать совершенно непрозрачным. Если облако было почти сферическим, то при полной его непрозрачности поверхностная температура облака определялась условием лучевого равновесия. Считая, что диссипация становится быстрой, когда на границе облака отношение параболической скорости к средней скорости теплового движения равно 5, найдем радиус R_0 , внутри которого не происходит существенной диссипации газа:

$$R_0 = \left(\frac{\pi \gamma M_{\odot} m_1}{4k\beta^2} \right)^2 \sqrt{\frac{8\pi\kappa}{L_{\odot}}}. \quad (1)$$

Здесь M_{\odot} и L_{\odot} — масса и светимость Солнца, m_1 — масса атома, k — постоянная Больцмана, κ — постоянная излучения, γ — постоянная тяготения.

Для водорода R_0 порядка размеров солнечной системы при $\beta = 5$, что делает вероятным предположение о том, что размеры первоначального облака определялись границей диссипации водорода. В правую часть (1) входит $M_{\odot}/L_{\odot}^{1/2}$, т. е. величина, практически не изменявшаяся в процессе эволюции Солнца.

В результате столкновений пылинок между собою и торможения их движения трением о газ энергия относительных движений пылинок уменьшалась, а так как момент количества движения пылевого облака в целом при этом оставался неизменным, то пылевое облако должно

было уплощаться. Когда пылевое облако стало почти плоской подсистемой, газовая составляющая продолжала образовывать почти сферическую подсистему. Плоская подсистема пыли простиралась не до самого Солнца, а заканчивалась на некотором расстоянии от него, образуя сильно сплюснутый эллипсоидальный тор. Облако, захваченное Солнцем, согласно гипотезе О. Ю. Шмидта ⁽¹⁾, должно вблизи Солнца иметь полость, так как вещество облака должно располагаться на расстоянии захвата. Максимум плотности мог бы переместиться к Солнцу лишь в результате медленного процесса перераспределения момента количества движения. Такая же полость должна была образоваться и в том случае, если бы планетное облако представляло собой внешнюю оболочку, отставшую от сжимавшейся туманности, превратившейся в дальнейшем в Солнце. В этом случае корпускулярная радиация Солнца, уносящая, согласно В. Г. Фесенкову ⁽²⁾, его избыточный момент, должна была сжимать планетную оболочку, придавая ей форму „скорлупы“, которая в дальнейшем превратилась в шар.

Газовое облако с массой порядка массы современных планет и размерами солнечной системы практически совершенно прозрачно для излучения Солнца, тогда как уплощенное пылевое облако совершенно непрозрачно. Поэтому пылинки внутри плоского облака не освещались радиацией, и температура их должна была снизиться до значения, близкого к абсолютному нулю.

Если через τ_R^0 обозначить оптическую толщину пылевого облака в радиальном направлении, а через τ_z^0 — в направлении, перпендикулярном к его экваториальной плоскости, то, полагая $\tau_R^0 \gg \tau_z^0 \gg 1$ и решая приближенно уравнение лучевого равновесия, получим

$$T(R) = T(R_1) \exp \left(-\frac{\tau_R}{4\tau_z^0} \right),$$

где $T(R)$ — температура внутри облака пыли на расстоянии R от Солнца; R_1 — расстояние, от которого отсчитывается от Солнца наружу оптическая длина τ_R .

Таким образом, прогретой оказывалась лишь незначительная часть облака (меньше сотой доли его массы). В этой части пыль могла состоять только из нелетучих веществ, и из нее образовались внутренние планеты, плотность которых по этой причине высока, а масса — порядка двухсотой доли суммарной массы планетного облака. В остальной части облака, где господствовала очень низкая температура, газ должен был замерзать на пылинках. Практически весь газ из сферического облака постепенно проник в плоскую пылевую систему и сконденсировался на пылинках. В этой части облака образовались планеты-гиганты, содержащие в большом количестве летучие вещества и, в частности, различные богатые водородом соединения, а может быть, и молекулярный водород. Обилием водорода, возможно, и объясняется малая плотность внешних планет.

Соображение о том, что особенности химического состава гигантских планет объясняются замерзанием летучих веществ на пылинках, высказывалось Б. Ю. Левиным ⁽³⁾, предположившим, что такие обмерзшие пылинки были захвачены из межзвездного пространства, и Тер-Хааром ⁽⁴⁾, считавшим, что вследствие понижения температуры пропорционально $R^{-1/2}$ на периферии плоского пылевого облака могло происходить такое замерзание. Мнение Тер-Хаара неверно, так как при $T \approx 100^\circ$ абс. и плотности газа в солнечной системе замерзание аммиака и метана невозможно.

Образование Юпитера, как и образование других планет, началось с конденсации* нелетучих веществ, количество которых в Юпитере не меньше, чем во всех внутренних планетах вместе взятых. Поэтому пылевое облако из нелетучих веществ, вошедших в состав Юпитера, имело достаточную массу для того, чтобы вся его внутренняя часть была целиком заэкранирована от солнечного излучения и в ней могла начаться и конденсация летучих веществ. Их конденсация увеличивала массу пыли, а поэтому еще усиливала экранирование и, следовательно, ускоряла процесс замерзания газов.

Количество пыли, окружавшей образовавшееся сгущение, оставалось достаточным для экранирования вплоть до момента полного объединения всех сгущений в планету, так как вещество сгущений беспрерывно распылялось при их столкновениях. Процесс этот был вполне аналогичен современному дроблению малых тел солнечной системы, которое является, согласно теории В. Г. Фесенкова⁽⁶⁾, источником пыли, создающей зодиакальный свет. В те времена этот процесс протекал весьма интенсивно, но он почти прекратился, когда основная масса мелких тел объединилась в планеты. Судя по тому, что в солнечной системе не осталось газового облака, процесс замерзания газа закончился раньше, чем произошло объединение вторичных сгущений в планеты.

Остальные планеты образовывались под воздействием уже существовавших сгущений Юпитера. Сконденсировавшееся вещество образовывало тела различных размеров от отдельных пылинок до вторичных сгущений. Более массивные тела, в силу стремления к равнораспределению, непрерывно возмущали менее массивные, увеличивая их энергию. Эти возмущения поддерживали на определенном уровне дисперсию скоростей пылинок, а следовательно, и толщину слоя пыли. Гравитационная конденсация пыли наступала либо тогда, когда, в результате поступления конденсирующихся веществ извне, поверхностная плотность σ достигала критического значения, либо тогда, когда из-за постепенного укрупнения возмущающих тел их воздействия убывали, а вместе с тем и толщина слоя убывала до критического значения. При отсутствии условий, необходимых для гравитационной конденсации, происходил процесс укрупнения тел в результате выпадения мелких тел на поверхность более крупных.

Поступило
24 VII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ О. Ю. Шмидт, Четыре лекции о теории происхождения Земли, изд. АН СССР, 1949. ² В. Г. Фесенков, Астр. журн., 26, № 2 (1949). ³ Б. Ю. Левин, Природа, № 10, 3 (1949). ⁴ D. Ter-Haar, Rev. Mod. Phys., 22, № 2, 119 (1950). ⁵ Л. Э. Гуревич и А. И. Лебединский, ДАН, 74, № 4 (1950). ⁶ В. Г. Фесенков, Метеорная материя в межпланетном пространстве, изд. АН СССР, 1947.

* Процесс гравитационной конденсации был нами исследован в (5).