

**К ДИНАМИЧЕСКИМ АСПЕКТАМ КОНЦЕПЦИИ  
Э.М. ГАЛИМОВА ОБРАЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ  
ЗЕМЛЯ – ЛУНА**

*В.Н. Сергеев*

Представлен анализ динамической модели Галимова–Кривцова совместного образования Земли и Луны из протопланетного облака. Показано, что предлагаемый авторами модели механизм частичной компенсации гравитационных сил в протопланетном облаке за счет сил отталкивания, вызванных испарением частиц, введен в модель некорректно и не дает необходимого эффекта фрагментации исходного облака на два объекта, становящихся, впоследствии, Землей и Луной.

**Введение**

История научных исследований происхождения Луны насчитывает уже более ста лет и подробно изложена в различных изданиях. В настоящей работе рассмотрена только концепция Э.М. Галимова образования системы Земля – Луна, развиваемая им уже второй десяток лет, и то лишь ее динамические аспекты [Галимов и др., 2005; Галимов, 2011; Galimov, Krivtsov, 2012]. В основе концепции Э.М. Галимова лежит представление о том, что планеты и их спутники образуются не путем столкновения твердых тел – пленетезималей, как принято считать [Витязев, Печерникова, Сафронов, 1990], а путем образования газопылевых сгущений, их роста и

объединения в крупные (в пределах радиуса Хилла) газопылевые тела, каждое из которых является родоначальным для соответствующей планеты и ее спутников [Галимов, 2011].

### Динамическая модель Галимова–Кривцова

Динамическая модель образования системы Земля – Луна в результате фрагментации протопланетного облака (газопылевого сгущения) рассмотрена в работе [Галимов и др., 2005]. Расчеты проводились на основе метода динамики частиц. Идея метода заключается в замене исходных уравнений динамики частиц протопланетного облака модельной системой уравнений с меньшим (приемлемым для расчетов) числом частиц с соблюдением подобия, последующим прямым вычислением координат и скоростей каждой модельной частицы из уравнений Ньютона для модельной системы. При достаточно большом числе частиц в модельной системе, таким образом, можно проследить основные черты эволюции реальной системы. Критерием достоверности результатов служит совпадение результатов расчета (хотя бы приблизительное) при увеличении числа модельных частиц.

Ключевым моментом в рассматриваемой модели является учет силы отталкивания между твердыми частицами в реальной системе, вызванной испарением вещества частиц с их поверхности [Галимов и др., 2005; Галимов, 2011]. Сила отталкивания призвана частично компенсировать гравитационные силы в газопылевом сгущении и, тем самым, обеспечить разреженность сгущения в течение длительного времени. Эта сила, действующая на частицу со стороны другой частицы равна переданному первой частице импульсу молекулами пара второй частицы в единицу времени и приближенно равна [Галимов и др., 2005]:

$$f_v = \frac{\pi v v a^4}{16 r^2}, \quad (1)$$

где  $v$  – масса вещества, испаряющегося с единицы поверхности частицы за единицу времени;  $v$  – средняя скорость молекул, отрывающихся от поверхности частицы,  $a$  – диаметр частицы,  $r$  – расстояния между частицами (между центрами частиц). Сила  $f_v$  (1) определяется произведением площади поперечного сечения частицы  $\pi a^2/4$  на массу молекул пара второй частицы, достигающих поверхности частицы в единицу времени  $v a^2/4 r^2$  и на их скорость  $v$ . Твердые частицы считаются шарами одинакового размера и массы.

Сила отталкивания  $f_v$  в [Галимов и др., 2005] объединяется с гравитационной силой взаимодействия:

$$f = f_g - f_v \approx \left( \gamma - \frac{9 v v}{4 \pi a^2 \rho^2} \right) \frac{m^2}{r^2} \approx \gamma' \frac{m^2}{r^2}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – гравитационная постоянная,  $\rho$  – плотность вещества частицы. Следует обратить внимание на то, что величина  $\gamma'$  в (2) может принимать отрицательные значения при соответствующих значениях отношения  $A = v v / a^2 \rho^2$ .

Вычисления в [Галимов и др., 2005] проводились в двумерной постановке при задании массы и момента сгущения равных массе и моменту системы Земля – Луна. Оказалось, что без учета силы (1) при гравитационном коллапсе сгущения происходит образование одного тела. Для того, чтобы образовалась система двух и бо-

лее тел необходимо уменьшить гравитационную силу  $f_\gamma$  в (2), по крайней мере, в 28 раз [Галимов и др., 2005], то есть  $\gamma'$  должно быть меньше  $\gamma/28 \approx 0,036\gamma$ . С другой стороны  $\gamma'$  не должно быть отрицательно. Это обстоятельство накладывает очень серьезные ограничения на допустимый для фрагментации сгущения диапазон значений отношения  $A$ . При  $A$  меньших значений из этого интервала образуется одно тело, при больших – силы отталкивания  $f_V$  становятся больше гравитационных сил притяжения  $f_\gamma$ . При изменении любой из величин  $v$ ,  $v$ ,  $a^2$ ,  $\rho^2$  (при фиксированных остальных) более чем приблизительно на 0,036 своей величины происходит выбывание из допустимого для фрагментации облака интервала значений  $A$ .

В трехмерной постановке, при тех же предположениях относительно частичной компенсации гравитационных сил, задача решалась в [Ле-Захаров, Кривцов, 2013]. К сожалению, авторы этой работы не указали, насколько было изменено значение гравитационной постоянной для получения приведенных в работе результатов. Однако в любом случае условие  $f_V \approx f_\gamma$  ведет к серьезным ограничениям на диапазон значений величины  $A$  требуемых для фрагментации сгущения.

Считая величины  $v$ ,  $v$ ,  $\rho^2$  постоянными, можно видеть, что при уменьшении  $a^2$  за счет испарения на небольшую величину (более 0,036 своей величины в двумерном случае) фрагментация сгущения становится невозможна. Однако в работах [Галимов и др., 2005; Галимов, 2011] широко используется 40% уменьшение массы частиц за счет испарения в процессе фрагментации сгущения. Отсюда делаются оценки времени формирования системы Земля – Луна, при испарении приблизительно 40% массы хондритового расплава остаток приобретает химический состав близкий к составу Луны [Галимов и др., 2005].

Причина наложения ограничений на значения величины  $A$  для достижения возможности фрагментации протопланетного облака заключается в неучете рассеяния импульса испарившихся частиц в среде газа и пара и распространения завихренности силы (1) от расстояния  $r$  как  $1/r^2$  на большие расстояния. При давлении газовой среды в газопылевом сгущении  $\sim 1$  Па длина свободного пробега молекул пара при температуре  $\sim 1000$  °К составляет  $\sim 0,1$  м. На расстояниях существенно больших этой величины влиянием испарения можно пренебречь и гравитационные силы от частиц на таких расстояниях не компенсируются силам отталкивания, вызванными испарением. Учитывая, что число частиц в сфере радиуса  $R$  растет с увеличением  $R$  как  $R^3$  (для равномерной плотности), а гравитационная сила убывает как  $R^{-2}$  вклад локальной силы, связанной с испарением, в уравнение движения частицы может быть относительно мал и введение величины  $\gamma'$  по (2) некорректно.

### Заключение

Приведенное рассмотрение показывает внутреннюю противоречивость динамической модели Галимова – Кривцова. Ограничения, накладываемые на  $A = vv/a^2\rho^2$ , не имеют физической основы и выглядят явно искусственными. Отсюда можно сделать вывод, что результаты численных экспериментов работы [Галимов и др., 2005] скорее опровергают, чем подтверждают возможность образования системы Земля – Луна в результате фрагментации протопланетного облака.

Автор выражает благодарность профессору А.В. Витязеву за внимание к работе.

### *Литература*

*Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С.* Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. М.: Наука, 1990, 296 с.

*Галимов Э.М. и др.* Динамическая модель образования системы Земля – Луна // Геохимия, 2005, № 11, С. 1139–1150.

*Галимов Э.М.* Образование Луны и Земли из общего супрапланетного газо-пылевого сгущения // Геохимия, 2011, № 6, С. 563–580.

*Ле-Захаров А.А., Кривцов А.М.* Расчет столкновительной динамики гравитирующих частиц для моделирования образования системы «Земля – Луна» в результате гравитационного коллапса пылевого облака / Проблемы зарождения и эволюции биосферы 2. Под ред. Э.М. Галимова. М.: КРАСАНД. 2013. С. 61-81.

*Galimov E.M., Krivtsov A.M.* Origin of the Moon. New Concept. Geochemistry and Dynamics. De Gruyter. 2012. 168 p.