

УДК 523.44

Образование Луны – последствия термоядерного взрыва?

Э.И. Терез¹, М.Е. Герасимов²

¹ НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
terez@crimea.edu

² Крымская геофизическая экспедиция, 95000, Украина, Крым, Симферополь

Поступила в редакцию 3 февраля 2009 г.

Аннотация. Предлагаемая модель объясняет образование Луны вследствие термоядерного взрыва, результатом которого был отрыв значительного объема земной массы. В рамках этой модели, с одной стороны, хорошо согласуются данные о физико-химических параметрах Луны, а с другой стороны – эта модель соответствует современным представлениям о динамизме геологического строения Земли, которое предполагает наличие мощного источника энергии в ядре Земли, возможно имеющего термоядерную природу.

IS THE MOON'S FORMATION THE RESULT OF THERMO-NUCLEAR EXPLOSION? *by E.I. Terez, M.E. Gerasimov.* The proposed model accounts for the Moon's formation as the result of thermo-nuclear explosion due to which an enormous land mass of the Earth was evaded. According to the model there is a good agreement of physical and chemical parameter data. On the other hand, the model corresponds to the modern idea of dynamism of geological structure of the Earth which presupposes presence of powerful source of energy in the Earth's nucleus that might have thermo-nuclear origin.

Ключевые слова: Луна, Земля, термоядерный взрыв

1 Введение

Согласно последним данным наша Солнечная система была сформирована более 4 млрд. лет тому назад во времена эры образования планет, которая длилась от 10 млн. до нескольких сотен миллионов лет. (Изотопное датирование наиболее древних из известных метеоритов свидетельствует о том, что макроскопические твердые частицы начали формироваться в пределах газовой солнечной туманности около 4.567 млрд. лет тому назад.) Чтобы исследовать механизм и этапы формирования Солнечной системы, прежде всего необходимо понять, как и когда могла возникнуть система Земля – Луна, физико-химические и геолого-минералогические параметры которых достаточно хорошо изучены.

Существует целый ряд моделей, объясняющих картину возникновения Луны. Из них доминируют следующие три гипотезы, предложенные в последние тридцать лет.

1. В 1975 г. Рускол (1975) предложила аккреционную теорию. Луна аккумулировалась из околоземного протоспутникового диска, накопленного из частиц, захваченных с гелиоцентрических

орбит. Однако вследствие неэффективности аккреционного механизма эта модель не может удовлетворительно объяснить большую массу Луны (1/81 массы Земли), низкую плотность Луны и дефицит железа (13 % FeO против 31 % для Земли).

- II. В 1975–1976 гг. две независимые группы исследователей (Уильям Хартманн и Дональд Девис, Планетарный научный институт) предложили модель мегаимпакта, а именно: они предположили, что касательное столкновение объекта размером с Марс с ранней Землей привело к выбросу на земную орбиту вещества, из которого затем сформировалась Луна. Американский астроном Камерон (2000) рассчитал разные варианты этой модели, в частности случай, когда масса налетающей планеты достигает $\approx 1/2$ массы Протоземли. Одним из результатов этой катастрофы стало возникновение массивного протолунного диска с большим угловым моментом. Таким образом, диск, а потом и спутник, сформировались из земной мантии, имеющей приблизительно ту же плотность, что и Луна. При этом угловой момент в результате удара вполне может объяснить быстрое первоначальное вращение Земли. Однако как отмечено в работе (Боярчук и др., 1998), удар тела размером с Марс должен был бы привести к большому эксцентриситету орбиты Земли, чего не произошло. Модель мегаимпакта имеет также целый ряд несоответствий с физико-химическими данными Луны (Джоунс и Пальм, 2000). Следствием мегаимпакта должно быть расплавление Луны и Земли. Расчеты показывают, что первоначально расплавленная Луна должна была остаться частично расплавленной как из-за низкой теплопроводности, так и из-за непрерывного выделения радиоактивного тепла. Но анализ современных геохимических данных не подтверждает это. Так, изучение лунных пород, доставленных на Землю, позволило методом радиоактивного распада установить, что горные породы на Луне стали твердыми около 4.44 млрд. лет назад. Можно считать доказанным, что Луна была сравнительно холодной и имела лишь частичное затопление магмой (Причард и Стивенсон, 2000; Снайдер и др., 2000). На Земле также не существовало океана расплавленной мантии.

Далее, гидродинамическое моделирование мегаимпакта предполагает, что большая часть ($\sim 80\%$) того вещества, что впоследствии стало лунным материалом, должно было содержать вещество столкнувшегося с Землей объекта – планеты величиной с Марс. Между тем соотношение W-изотопов показало убедительное свидетельство того, что Луна унаследовала свои химические свойства у Земли. Действительно, мантии обоих тел неразличимы с точки зрения изотопов, по крайней мере для тех регионов Луны, из которых были доставлены на Землю образцы. Возникает естественный вопрос, могла ли планета, налетевшая на Землю, состоять из такой же смеси первоначального материала как Земля и таким образом в результате эволюции получить такой же изотопный состав? Это возможно, если только они находились на одинаковом расстоянии от Солнца, подпитывались одинаковыми веществами солнечной туманности, а также имели похожую историю отделения ядра от мантии (Вилсон, 2008). Этот вариант крайне маловероятен, хотя модель мегаимпакта по-прежнему считается основной (правда, из-за отсутствия альтернативных моделей), и ее описанию посвящен целый ряд новейших статей (например, Стивенсон, 2008)

- III. Мульти-импактная модель, предложенная Горькавым (2004), объясняет образование Луны бомбардировкой Земли миллионами крупных астероидов диаметром 10–1000 км с последующей аккумуляцией образовавшегося протоспутникового диска в твердую Луну.

Мульти-импактная модель образования Луны во многом близка к классической аккреционной теории, предложенной Е. Рускол, но позволяет объяснить проблемы недостаточной ее эффективности и несоответствия химического состава Луны и Земли. Главной особенностью предлагаемой модели является отказ от предположения крайне маловероятного одного мегаудара и переход к концепции множества более мелких соударений, которые, тем не менее, работают сходным образом, выбивая мантийное вещество с планеты на околопланетные орбиты. Бомбардировка Земли миллионами крупных астероидов, размером 10–1000 км, и выброс огромного количества вещества в космос не может образовать Луну, так как все эжектированные частицы падают назад на планету или уходят на гелиоцентрические орбиты. Протоспутниковый диск, формирующийся из частиц с гелиоцентрических орбит, тоже не может образовать наблюдаемую Луну из-за своей малой массы. Горькавый (2007) рассмотрел суммарную эффективность

этих двух факторов и показал, что их взаимодействие может привести к новому успешному механизму образования Луны, обладающему позитивными особенностями обеих моделей. Однако и мульти-импактная модель не может объяснить ряда существенных моментов в истории Земли – Луны. Прежде всего, бомбардировка Земли миллионами крупных астероидов, результатом которой стало возникновение Луны, должна была проходить в течение достаточно большого промежутка времени – сотен миллионов лет. А геофизические данные как Луны, так и Земли свидетельствуют в пользу достаточно быстрого возникновения Луны. Так, основываясь на измерениях состава изотопов вольфрама в лунной мантии, геохимиками Тоубулт и Кляйне с коллегами (2007) показано, что Луна сформировалась в интервале 60–100 миллионов лет после возникновения Солнечной системы (даже, вероятнее, в интервале 30–50 миллионов лет после возникновения Солнечной системы). Далее, мульти-импактная модель не в состоянии полностью объяснить угловой момент системы Земля-Луна, поскольку рост в результате множества небольших ударов обычно дает небольшой угловой момент и вызывает медленное вращение планеты. Кроме того, в рамках модели мульти-импакта невозможно объяснить проблему асимметрии кратеров и морей на видимой и обратной стороне Луны. В этом смысле более логично было бы предположить единовременный отрыв большой массы от Земли. Но остается вопрос: как это могло произойти?

2 Проблемы радиационного баланса планет

Из всех наблюдаемых геофизических и геологических явлений наибольшее значение в планетарном масштабе имеет поток тепла через поверхность Земли. Связанная с ним отдача энергии в единицу времени (год) на один-два порядка превышает суммарную энергию, высвобождающуюся при землетрясениях и вулканической деятельности. Для объяснения наблюдаемого геотермального потока Земля должна ежегодно производить около $1 \cdot 10^{21}$ Дж/год энергии. Примерно столько же энергии должно выделяться в земном ядре для генерации геомагнитного поля, т. е. в сумме энергия Земли оценивается в $2 \cdot 10^{21}$ Дж/год. В то же время по содержанию долгоживущих радиоактивных элементов, таких как U^{238} , U^{235} , Th^{232} и K^{40} , обнаруженных в метеоритах и в земной коре, было приблизительно рассчитано, что энергия, освобождаемая в результате радиоактивного распада, составляет $2.3 \cdot 10^{20}$ кал/год или $9.63 \cdot 10^{20} \approx 1 \cdot 10^{21}$ Дж/год – величина близкая, но все же недостаточная для объяснения энергии, выделяемой Землей. И уж совсем трудно объяснить радиоактивностью мощный поток излучения от планет-гигантов. Был предложен ряд гипотез (Хаббард, 1980; Ван Сиклени др., 1986; Сиварам, 1987), которые, однако, не смогли дать удовлетворительного ответа о механизмах возникновения избытков излучения и не позволяют объяснить целый ряд эффектов, в частности соотношение масса-светимость планет.

Интересно, что изучение радиационного баланса некоторых планет вне Солнечной системы (тех немногих из них, изучение которых возможно) также свидетельствует в пользу существования некоего скрытого источника энергии внутри планет. Так, открытая в 2000 г. планета звезды HD209458b (слабая звезда в созвездии Пегаса) имеет массу, очень близкую к массе Юпитера, а большая полуось орбиты составляет 0.045 а. е. Особенность системы HD209458b заключается в том, что, как можно видеть с Земли, эта планета проходит перед звездой каждые 3.5 дня. Поэтому мы можем измерить время, которое необходимо планете для прохождения через звездную поверхность и последующего затмения звезды (около 2 %). Таким образом, можно вычислить размер планеты, наклон ее орбиты и, следовательно, массу. Оказалось, что радиус этой планеты (на 35 % больше радиуса Юпитера) намного больше, чем ожидалось. Таким образом, должен быть некий дополнительный источник энергии, который не позволяет этой планете охлаждаться быстрее и сжиматься (Гиллот, 2004).

Недавно китайский астроном Ванг Хонг-цханг (1990) построил диаграмму масса-светимость для планет-гигантов и для Земли (рис. 1). Линейная зависимость логарифма светимости от логарифма массы звезды может иметь только одно объяснение: энергия образуется в результате термоядерных реакций, при которых скорость производства энергии экспоненциально возрастает с ростом температуры. Поэтому можно утверждать, что диаграмма масса-светимость для планет-гигантов аналогична звездной, что говорит о термоядерной природе внутренней энергии этих планет. Но что

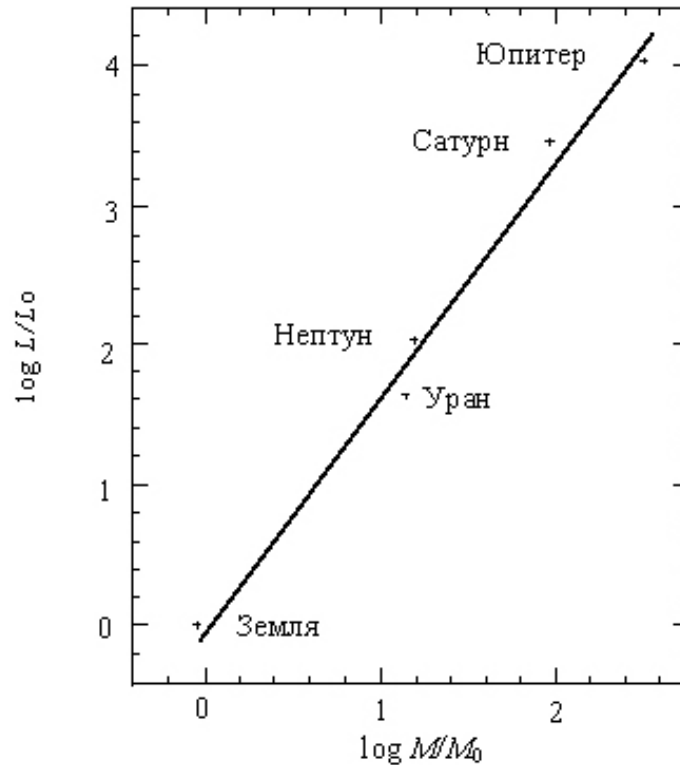


Рис. 1. Диаграмма масса-светимость для больших планет. Массы и светимости планет выражены в относительных единицах по отношению к массе и светимости Земли

удивительно, на диаграмме масса-светимость Земля попадает на ту же прямую, что и планеты-гиганты. Это позволило Ванг Хонг-цхангу предположить, что основным источником внутренней энергии Земли также являются термоядерные реакции. Этот вывод, конечно, кажется нереальным из-за низких температур ядра Земли. Исходя из гипотезы, что ядро Земли железное, а температура плавления железа при давлениях $\approx (1.4 - 3.6) \cdot 10^6$ бар (давление на границе мантия-ядро) не более 4600 К, предполагается, что температура на границе ядро-мантия лежит в интервале 4500–5000 К (Жарков, 1983). Это приводит к температуре в центре Земли ≈ 6000 К (Если же ядро состоит не из железа, то, естественно, температура ядра будет иной.)

Возможна ли в принципе низкотемпературная термоядерная реакция? Согласно классической теории термоядерной реакции, предложенной Гамовым (1938) и Бете (1939) скорость воспроизведения синтеза ядер при температуре $T < 10^5$ К быстро падает. Но формула Гамова для поперечного сечения реакции синтеза учитывает лишь столкновение и плавление (синтез) двух ядер атомов без учета какого-либо внешнего воздействия. Эта формула применима лишь для сверхвысоких температур. Она не в состоянии объяснить большое количество наблюдаемых аномалий при реакциях плазмы высокой плотности при низких температурах ($T < 10^5$).

В новейшей физике известен целый ряд экспериментов, когда кратковременно в лабораторных условиях удавалось получать низкотемпературную термоядерную реакцию. Не все эти эксперименты прошли повторную проверку. И тем не менее есть убедительные доказательства, что в ряде случаев (например, химические взрывы (Глас и др., 1982) или так называемый “пузырьковый” термояд (Талеархан и др., 2002, 2004; Нигматулин, 2005)) имела место именно термоядерная реакция, о чем свидетельствовал поток быстрых нейтронов и трития.

В плазме высокой плотности любая пара реактивных ядер подвергается воздействию сильного внешнего поля со стороны окружающих заряженных частиц. Это воздействие значительно увеличи-

вает скорость термоядерной реакции (Грабоске и др., 1973; Ичимару и др., 1984; Грием, 1974; Ванг Хонг-цханг, 1982). В конечном случае можно рассматривать формулы Гамова для поперечного сечения термоядерного синтеза лишь как частный случай для сверхвысоких температур. При низких температурах ($T < 10^5$ К) и высокой плотности плазмы характеристики ядерного синтеза могут быть объяснены лишь с использованием обобщенной формулы Гамова, т. е. при учете необходимых поправок (Ванг Хонг-цханг, 1990).

В 40–50-х годах прошлого века господствовала гипотеза о том, что ядро Земли состоит из металлизированных силикатов. Прогресс, который произошел в динамической физике высоких давлений в 50–60-х годах, позволил изучить для Земли функции распределения плотности $\rho = f(L)$ и давления $p = f(L)$ с глубиной L . А если известны $\rho = f(L)$ и $p = f(L)$, то известно и уравнение состояния земного вещества $p = f(\rho)$. Сравнивая зависимость $p = f(\rho)$, определенную в лабораторных экспериментах для различных горных пород и минералов, появляется возможность подобрать конкретный вещественный состав для земных недр на количественной основе. Для земного ядра с точностью до 5–10 % в интервале давлений (согласно оценкам (Жарков, 1983) для внешней границы ядра – $(1.4 - 3.6) \cdot 10^6$ бар) подходит именно железо. Поэтому сегодня господствует мнение, что ядро Земли железо-никелевое. А если предположить, что ядро Земли имеет химический состав, близкий к звездному, т. е. состоит, в основном, из водорода? В реальной Земле имеется заметная концентрация массы к центру, и давление в центре Земли может быть большим, более 10^6 бар. Как впервые показали Вигнер и Хантингтон водород, если его сжать до давления $\approx 10^6$ бар, из молекулярной фазы переходит в металлическую, т. е. превращается в простейший одновалентный металл с плотностью ≈ 1 г/см³. Свойства металлического водорода малоизучены. Нет данных о его пластичности (текучести). Предполагается, что при дальнейшем увеличении давления плотность металлического водорода быстро возрастает и при давлении $1 \cdot 10^8$ бар (согласно Жаркову (1983)) составляет уже 5,9 г/см³. Если учесть, что плотность гелия существенно больше (при давлении $1 \cdot 10^7$ бар – 4,60 г/см³, при давлении $1 \cdot 10^8$ бар – 13,1 г/см³) и предположить в земном ядре 10–20 % примесь гелия, то плотность земного ядра вполне соответствует значениям для железа.

В экспериментах с “пузырьковым термоядом” было зафиксировано, что термоядерная реакция происходит при $T = 273$ К и давлениях порядка 10^8 бар. Это давление в экспериментах создавалось при прохождении ультразвуковых волн большой мощности через дейтерированный ацетон. Но на Земле ежегодно происходят до миллиона подземных толчков, которые порождают упругие продольные волны. (Из них в среднем за год одно катастрофическое землетрясение с магнитудой более 8, десять разрушительных с магнитудой $7 \div 8$ и сто сильных землетрясений с магнитудой $6 \div 7$.) Продольные волны, проходя через вещество (жидкое или твердое) в местах пучностей, создают локальные повышения плотности. Таким образом, давление в местах пучностей продольной волны может возрастать на порядки. То есть если говорить о земном ядре, то при прохождении продольных (сейсмических) волн давление в локальных точках может достигать величины 10^8 бар и более.

Но если в ядре Земли в настоящее время возможны локальные термоядерные реакции (или, точнее, квазитермоядерные) по типу “пузырькового термояда”, то на ранней стадии эволюции Земли эти реакции должны были протекать значительно активнее и, в принципе, нельзя исключить возможность мощного термоядерного взрыва. Этот взрыв мог привести к отрыву значительного количества земной массы, из которой впоследствии образовалась Луна. Можно примерно оценить мощность взрыва, приняв массу вещества, выброшенного на орбиту Земли, равной массе Луны ($7.35 \cdot 10^{22}$ кг) по общей формуле $W = m \cdot v^2/2$. Сразу же следует отметить, что такой расчет некорректный, он дает заведомо завышенную величину энергии взрыва, т. к. массы и Земли, и Луны миллиарды лет назад, когда был возможен отрыв Луны, были много меньше современных. Тем не менее расчеты дают величину $W = 2.47 \cdot 10^{30}$ Дж/сек (Вт). В случае реакции протон-протонного цикла (pp) при переходе 1 кг водорода в гелий выделяется 10^{15} дж энергии. Таким образом, для выделения энергии термоядерного взрыва, образовавшего Луну, требуется масса водорода, равная $2.47 \cdot 10^{15}$ кг или $2.47 \cdot 10^{12}$ тонн. (Это всего лишь $3.4 \cdot 10^{-8}$ массы выброшенного вещества (Луны).) Если принять плотность водорода при давлении $1 \cdot 10^6$ бар равной 1 г/см³, то объем взорвавшейся массы $2.47 \cdot 10^{12}$ м³. Диаметр шара соответствующего объема равен $\sim 16.7 \cdot 10^3$ м или 16.7 км –

незначительная величина, соответствующая кратерам больших вулканов.

Кроме того, важно отметить, что взрывной выброс достаточно большой массы (Луны) не мог привести к значительному повышению общей температуры Земли и Луны и к их расплавлению (в отличие от мегаимпакта).

3 Геологический аспект

На современном уровне развития геологических наук закономерности глубинного строения земных недр наиболее аргументированно объясняются с позиций актуалистической геодинамики, в основе которой лежат представления о плюм-, плейт-тектонических процессах на разных уровнях литосферы и мантии (Шарманов, 1990; Артюшков, 1993; Хаин и др., 1997; Хаин, 2001). Наличие “плюмов” (струй расплавленного или пластично-твердого вещества, поднимающихся вверх из глубин планеты и проникающих в верхнюю мантию и земную кору вплоть до выхода на поверхность Земли) и “плит” – это фундаментальное свойство слоистой среды, подверженной тектоническим деформациям. Если “плюмы” могут возникать (зарождаются) на уровне различных оболочек Земли, они могут быть свойственны и для ядра Земли, в том числе внешнего, как мощного источника внутренней энергии планеты. Представляется, что именно формирование плюмов в ядре является одной из определяющих причин возникновения конвективных ячеек в нижней и верхней мантии. При этом сами плюмы ядра представляются следствием квазитермоядерных преобразований вещества ядра с выделением большого количества энергии во внешнее ядро и мантию, прежде всего в нижнюю. При таком понимании первопричиной эндогенных геодинамических и тектонических процессов в течение всей истории Земли могут быть следствия эволюции квазитермоядерного внутреннего ядра. В этом плане представляется вполне вероятным в геологическом прошлом Земли формирование глобального плюма, вследствие чего оказался возможным отрыв Луны от Земли с образованием Пратихоокеанской котловины и возникновением гидросферы (водной геосферы) как результата остывания геосферы базальтового состава.

С началом зарождения квазитермоядерного очага в центре Земли возникли условия для проявления антиподальности строения планеты, по-видимому, вначале в ее ядре, а затем и в других оболочках (геосферах) вплоть до отрыва Луны. Современную антиподальность, т. е. наиболее фундаментальную особенность строения Земного шара, следует рассматривать как результат определяющего влияния квазитермоядерных процессов в центре Земли. Главной фазой проявления антиподальности следует считать термоядерный взрыв, вызвавший отрыв глобального плюма (Луны), а последующие фазы обусловили формирование и распад Пангей, перестройку конвективных ячеек мантии вследствие постепенного угасания активности квазитермоядерных процессов в центре Земли. Исследования Луны показывают, что для нее также характерна антиподальность как по форме, так и по плотности пород на ее видимой и обратной (невидимой) сторонах; резко отличаются их рельеф и геологическое строение. Гравитационное поле Луны и, соответственно, фигура Луны в настоящее время детально исследованы по наблюдениям искусственных спутников Луны. Центр масс Луны смещен относительно геометрического центра примерно на 2 км к Земле. Имеющиеся данные позволяют сделать вывод о том, что более высокую плотность породы имеют на видимой стороне, а менее плотные породы развиты на невидимой стороне. Из этого следует, что видимая сторона Луны соответствует более глубинным слоям (мантии) ее “праматери” Земли, а невидимая сторона – внешним оболочкам, возможно, содержащим гранитный и базальтовый слой.

4 Космогонические соображения

Естественно, что рассмотрение проблемы происхождения Луны должно исходить из представления о начальном состоянии планетного космического тела (Протоземли) и причине появления его в пространстве. В настоящее время существуют две альтернативные концепции: холодной начальной Земли и горячей начальной Земли. Концепция холодной Земли (аккреционная) рассматривает образование планеты Земля за счет соударений и слияния в единое целое крупных и мелких холодных

(твердых) астероидов и последующего радиогенного разогрева ядра Земли, с дифференциацией ее на оболочки разной плотности (Левитан, 2005; Лобковский и др., 2004). В концепции “горячей Земли” исследуются два варианта: 1) планеты образуются из холодного газово-пылевого облака и достигают горячего состояния при гравитационном коллапсе за счет мощного уплотнения вещества; 2) планеты представляют собой уже в начальном состоянии горячие тела – сгустки плазмы, оторвавшиеся от Протосолнца тем или иным способом (Амбарцумян, 1988; Шило, 1997). Концепция “горячей Земли” приобретает сейчас все больше сторонников как наиболее согласующаяся с современными астрономическими и астрофизическими данными (Амбарцумян, 1988; Маракшев, 1999; Шило, 1997 и др.).

Представление о плазменном начальном состоянии планет и образовании их путем отрыва от Протосолнца наиболее реально и в плане геохимической эволюции планет. В начальный момент образования звезды представляют собой весьма неустойчивые в динамическом плане образования и до перехода их в период стационарного устойчивого развития претерпевают ряд трансформаций, с выбросом и истечением части своего вещества. Мощные взрывные процессы перераспределения энергии и вещества внутри звезд приводят, с одной стороны, к выбросу в околозвездное пространство серии плазменных сгустков вещества звезд, а с другой стороны – уменьшают момент количества движения звезд. После этого звезды и связанные с ними планетные системы вступают в период длительного эволюционного стационарного развития.

Аналогичным образом выброшенные с большой скоростью сгустки плазмы приобретают вращательное движение вокруг родоначальной звезды и входят в режим длительного революционно-эволюционного планетного развития. Быстровращательное движение сгустка плазмы вокруг собственного центра масс приводит к концентрации основной части газового вещества (в основном, водорода) в центральной части формирующегося сфероида и затем к мощному гравитационному уплотнению его (Амбарцумян, 1988). Молодая планета вступает в период последовательного длительного остывания и консолидации ее верхней оболочки (перехода в жидкогазовое, а затем и твердое состояние). Во внутреннем плотном газовом ядре планеты на фоне постепенного спада температурного режима от 10^7 К до 10^4 К скорость протекания термоядерных реакций резко замедляется (Хаббард, 1987) и происходят сложные неравновесные процессы дифференциации и перемещения потоков газового, а затем и жидкогазового вещества и формирования центрального ядра. В таком состоянии молодая планета приобретает резкую динамическую неустойчивость, которая может завершиться мощным взрывом (термоядерным) и выбросом в космос части вещества планеты, из которого затем формируется спутник (или спутники). Именно такой механизм происхождения Луны представляется нам наиболее вероятным.

5 Заключение

В задачу данной работы не входило построение количественной модели образования Луны. Предлагаемая к обсуждению гипотеза происхождения Луны в результате “большого взрыва” при всей своей необычности на первый взгляд согласуется с имеющимися физико-химическими данными Земли и Луны и не противоречит законам небесной механики.

Следует отметить, что для подтверждения (или опровержения) той или иной гипотезы о происхождении Луны решающее значение имеет информация о ее внутреннем строении. Точные данные о внутреннем строении Луны могли бы дать сейсмические измерения, осуществленные из трех точек: две из них должны располагаться на экваторе, а одна – на полюсе. Это одна из важнейших задач будущих лунных экспедиций.

Литература

- Амбарцумян В.А. // Избранные статьи. М: Знание. 1988.
- Артюшков Е.В. // Физическая тектоника. М.: Наука. 1993.
- Бете (Bethe H.A.) // Phys. Rev. 1939. V. 55. P. 434.
- Боярчук А.А., Рускол Е.Л., Сафронов В.С., Фридман А.М. // Докл. РАН. 1998. Т. 361. С. 481.
- Ван Сиклен (Van Sciclen, Dew C., et al.) // J. Phys. G. Nucl. Phys. V. 12. 1986. P. 213.
- Ванг Хонг-цханг (Wang Hong-zhang) // Acta Optica Sinica. 1982. V. 2. P. 72.
- Ванг Хонг-цханг (Wang Hong-zhang) // Chin. Astron. Astrophys. 1990. V. 14/4. P. 361.
- Вилсон (Wilson M.) // Physics today. 2008. №. 2. P. 16.
- Гамов (Gamov G.) // Phys.rev. 1938. V. 53. P. 595.
- Глас (Glass I. et al.) // Phys. Fluids. 1982. V. 25. P. 269.
- Горькавый (Gorkavii N.) // Bull. Am. Astron. Soc. 2004. V. 36. №. 2.
- Горькавый Н.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. № 2. С. 143.
- Грабовске (Craboske H.C. et al.) // Astrophys. J. 1973. V. 181. P. 439.
- Грием (Griem H.R.) // Spectral Line Broadening by Plasmas. Academy Press. New York. 1974.
- Джоунс и Пальм (Jones J.H., Palme H.) // Origin of the Earth and Moon / Eds Canup R.M., Righter K. University of Arizona Press. 2000.
- Жарков В.Н. // Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука. 1983.
- Ичимару (Ichimaru S. et al.) // Phys. Rev. 1984. V. A29. P. 2033.
- Камерон (Cameron A.G.W.) // Origin of the Earth and Moon / Ed. Canup R.M., Righter K. University of Arizona Press. 2000.
- Левитан Е.П. // Астрономия. М.: Просвещение. 2005.
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. // Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Научный Мир. 2004.
- Маракшев А.А. // Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука. 1999.
- Нигматулин (Nigmatulin I.) // Nuclear Engineering and Design. V. 235. 2005. P. 1079.
- Притчард и Стивенсон (Pritchard M.E., Stevenson D.J.) // Origin of the Earth and Moon / Eds Canup R.M., Righter K. University of Arizona Press. 2000.
- Рускол Е.Л. // Происхождение Луны. М.: Наука. 1975.
- Сиварам (Sivaram C.) // Earth, Moon and Planets. V. 37. 1987. P. 155.
- Снайдер и др. (Snyder G.A., Borg L.E., Nyquist L.E., Taylor L.A.) // Origin of the Earth and Moon / Eds Canup R.M., Righter K. University of Arizona Press. 2000.
- Стивенсон (Stevenson D.J.) // Nature. 2008. V. 451. P. 261.
- Талеархан и др. (Taleyarkhan R.R., West C., Cho J.S., Lahey (Jr.) R.T., Nigmatulin R.I., Block R.) // Science. V. 295. 2002. P. 1868.
- Талеархан и др. (Taleyarkhan R.R., West C., Cho J.S., Lahey (Jr.) R.T., Nigmatulin R.I., Block R.) // Physical Review E. V. 69. 2004. P. 1091.
- Тристан Гиллот (Tristan Gillot) // Physics today. №. 4. 2004.
- Тоубул и др. (Touboul M., Kleine T., Bourdon B., Palme H., Wieler R.) // Nature. V. 450. 2007. P. 1206.
- Хаббард (Hubbard, W.B.) // Rev. Geophys. and Space Phys. V. 18. 1980. P. 1.
- Хаббард // Внутреннее строение планет. Пер. с англ. М.: Мир. 1987.
- Хаин В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. // Историческая геология. М. Изд. МГУ. 1997.
- Хаин В.Е. // Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир. 2001.
- Шарманов Б.Ф. // Сов. Геология. 1990. №. 9. С. 100.
- Шило И.А. // Спиралевидное с вихревой структурой термоплазменное облако – колыбель Солнечной системы. Четыре космопланетарных проблемы: от Солнечной системы до Каспия. М.: Фонд "Новое тысячелетие". 1997.