

ЛУНА И ЗЕМЛЯ: ВЫЯСНЕНИЕ ОТНОШЕНИЙ

© Верин О.Г.

Контакт с автором verinOG@list.ru

Луна не может не привлекать к себе внимание. Вид Луны на ночном небе, особенно, если это полная Луна, завораживает не только своим таинственным холодноватым светом, но и непостижимостью этого величественного, романтического и вечного союза Земли и Луны. Как зачарованная, наша спутница смотрит на Землю и никогда от нее не отворачивается. А Земля, отвечая приливами и отливами, отдает свою энергию Луне, поднимая ее орбиту все выше и выше, но так никогда и не отпустит ее от себя!

Действительно, упомянутая особенность вращения Луны проявляется в том, что естественный спутник Земли обращен к нам все время одной стороной. Поэтому в течение всей предыдущей истории человечества, вплоть до 1959 года, никто понятия не имел о том, как выглядит противоположная сторона. Именно в тот год советская автоматическая станция «Луна-3» облетела вокруг Луны и впервые сфотографировала ее. Наконец, стало возможным «увидеть невидимое». Однако открывшаяся картина только увеличила количество загадок, а сам факт совпадения времени обращения Луны вокруг Земли с периодом вращения Луны вокруг своей оси опять привлек к себе внимание.

Новая загадка состояла в том, что даже самое первое беглое сравнение сфотографированной оборотной стороны Луны с ее видимой поверхностью, обнаруживает поразительные различия. Бросается в глаза то, что на невидимой стороне Луны отсутствуют огромные разливы застывшей магмы, формирующие облик видимой стороны, и названные поэтому «морями» и «океанами». Чем же вызвана столь явная асимметрия?

Очевидно, что тайны Луны каким-то образом связаны с историей ее образования и «взаимоотношений» с Землей. Но как?

Версии возникновения Луны

Точные измерения расстояния до Луны, которые стали возможными с появлением лазерной техники, позволили достоверно установить, что наш естественный спутник отдаляется от Земли со скоростью чуть меньше четырех сантиметров в год. Эта величина, конечно, очень мала, но время в космосе измеряется миллиардами лет, и в далеком прошлом, когда солнечная система еще только формировалась, Луна была значительно ближе к Земле.

Поэтому очень правдоподобной на первый взгляд представляется версия образования Луны, которую выдвинул еще в 19 веке Джордж Дарвин (сын

знаменитого Чарльза Дарвина). Он предположил, что Луна когда-то была частью Земли, но вследствие быстрого вращения этой общей массы и воздействия солнечных приливов возникла нестабильность, в результате которой произошел отрыв значительной части вещества. Потом этот «кусочек» из-за воздействия приливов постепенно отдалялся от Земли и превратился в ее естественный спутник. Эта версия объясняет очень многие особенности Луны.

В самом деле, оторвавшаяся от Земли часть массы продолжала бы вращаться вокруг своей оси с той же скоростью и оказалась бы обращена к Земле все время одной и той же стороной. Кроме того, в момент отделения могло произойти излияние расплавленной магматической массы на поверхность образующегося спутника, обращенную к Земле.

В пользу этой версии говорит и тот факт, что плотность лунного вещества относительно невелика и в среднем соответствует плотности верхних слоев Земли. Луна оказалась обедненной металлами, которые как раз сосредоточены в более глубоких слоях и в ядре Земли.

Все это выглядит очень правдоподобно, и версия Дарвина была долгое время доминирующей. Однако у этой версии есть один принципиальный недостаток. Момент количества движения системы Земля-Луна недостаточен для осуществления этого сценария развития событий. Он должен был бы быть почти в два раза больше, чем он есть на самом деле!

Поэтому возникли и обсуждаются многочисленные другие версии [1].

Например, Луна вполне могла образоваться одновременно с Землей из того же «облака газа и пыли», вращавшегося некогда вокруг Солнца. По соотношению масс Земля со своим естественным спутником действительно напоминают двойную планетарную систему. У этой версии и сейчас много сторонников.

Другие считают, что Луна когда-то двигалась по своей собственной орбите вокруг Солнца, но потом приблизилась к Земле, была ей «захвачена» и переведена на околоземную орбиту (так называемая версия «захвата»).

Однако доминирующей на сегодняшний день является версия столкновения Земли с очень большим космическим телом, в результате чего ось вращения планеты наклонилась, а в окружающее пространство было выброшено вещество, из которого впоследствии и образовалась Луна. Предполагается, что это столкновение произошло не «в лоб», а «по касательной», чем в частности объясняется резкое увеличение скорости вращения Земли.

Споры о происхождении Луны продолжаются до настоящего времени, так как каждый из сценариев имеет свои слабые стороны. При этом недостатки каждой из обсуждаемых версий настолько серьезны, что ни одна из них никак не может утвердиться и стать общепризнанной.

Итак, Луна не могла образоваться «методом отрыва» от Земли, так как система в целом не обладает достаточным моментом количества движения.

«Захват» Луны Землей весьма маловероятен по соображениям «небесной механики». Проблематичен, в первую очередь, механизм торможения стороннего

большого небесного тела и перевода его на достаточно низкую орбиту вращения вокруг Земли, каковой эта орбита была в далеком прошлом.

Версия одновременного формирования из общего газопылевого облака не объясняет разительных отличий внешнего вида видимой и невидимой частей Луны. Непонятна и причина столь существенного дефицита железа и летучих элементов на Луне.

Наиболее «популярная» версия столкновения Земли с огромным небесным телом (сравнимым с Марсом) тоже вызывает сомнения. Луна должна была воспринять значительную часть вещества этого тела, но грунт Луны не обнаруживает следов далекого странника. Кроме того, возникает вопрос о том, куда улетело это небесное тело после столкновения «по касательной» с Землей?

Таким образом, сложилась парадоксальная ситуация: ни один из предложенных сценариев возникновения Луны не может объяснить всю совокупность относящихся к проблеме известных фактов.

Что происходит?

Чтобы составить для себя собственное представление о характере «взаимоотношений» Луны и Земли, проведем небольшое «расследование». Сначала проанализируем в первом приближении количественную (энергетическую) сторону процессов взаимодействия Луны и Земли.

Будем рассматривать систему Луна – Земля как замкнутую, то есть, пренебрежем влиянием возмущений, оказываемых другими планетами и Солнцем на взаимное расположение и относительное движение Луны и Земли. Не будем также учитывать «нюансы», вызываемые известным несопадением плоскостей экватора Земли и орбиты Луны.

При анализе моментов количества движения центр вращения системы будем полагать совпадающим с центром Земли, а имеющую небольшую эллипсность орбиту движения Луны вокруг Земли будем считать круговой.

На самом деле траектория движения Луны является раскручивающейся спиралью, так как она постепенно удаляется от Земли, но эти изменения так малы, что каждый отдельный виток вращения можно считать замкнутым.

Сам факт постоянного, хотя и довольно медленного, увеличения расстояния между Луной и Землей связан с приливами, вызываемыми гравитационным взаимодействием этих двух огромных масс. Принципиальное значение имеет относительно быстрое вращение Земли вокруг своей оси в сравнении с вращением Луны по орбите. Приливная волна, возникающая на Земле, увлекается этим относительно быстрым вращением Земли и «тащит» за собой «отстающую» Луну. Таким образом, Земля «раскручивает» Луну, переводя ее на все более высокую орбиту. (Заметим, что приливные волны не имеют ничего общего с солитонами [2]).

Что происходит с механическими параметрами системы?

Надежной «точкой опоры» в наших расчетах является закон сохранения момента количества движения, который должен неукоснительно соблюдаться в любой замкнутой системе.

Поэтому сначала определим общий суммарный момент количества движения системы Луна – Земля при существующих сейчас параметрах.

Для расчетов используем известные приближенные формулы для моментов инерции Земли и Луны:

$$I_e = 0,335m_e R_e^2, \quad I_l = 0,39m_l R_l^2. \quad (1)$$

Здесь m_e – масса Земли ($6 \cdot 10^{24}$ кг), R_e – радиус Земли ($6,4 \cdot 10^6$ м), m_l – масса Луны ($7,35 \cdot 10^{22}$ кг), R_l – радиус Луны ($1,74 \cdot 10^6$ м) [3].

Коэффициент в формуле для момента инерции Земли (0,335) значительно меньше, чем аналогичный коэффициент в формуле для Луны (0,39), что объясняется наличием очень плотного ядра у Земли и, наоборот, говорит об относительно равномерном распределении массы у Луны. Напомним, что при идеально равномерном распределении массы этот коэффициент равен 0,4.

Расчеты моментов количества движения в системе Земля-Луна дают следующие приближенные результаты (**в системе СИ**):

для Луны (вращение вокруг собственной оси и вокруг Земли с периодом около 27,32 суток; расстояние до Луны r приблизительно равно 384,4 тыс. км.)

$$L_l = I_l \omega_l + m_l r^2 \omega_l \approx 2,88 \cdot 10^{34},$$

для Земли (вращение вокруг собственной оси)

$$L_e = I_e \omega_e \approx 5,99 \cdot 10^{33},$$

общий момент количества движения системы

$$L_s = L_l + L_e \approx 3,48 \cdot 10^{34}.$$

Еще одной «точкой опоры» в расчетах механических параметров системы является однозначная зависимость характеристик Луны от расстояния до Земли. Действительно, скорость движения Луны по орбите однозначно определяется равенством нулю суммарной силы (силы гравитации плюс центробежной силы):

$$F_s = F_g + F_c, \quad F_s = \frac{m_l v^2}{r} - \gamma \frac{m_l m_e}{r^2} = 0, \quad v = \left(\frac{\gamma m_e}{r} \right)^{1/2}. \quad (2)$$

Соответственно однозначно определяются расстоянием от Земли угловая скорость вращения и момент количества движения Луны.

$$\omega_l = v / r = \left(\frac{\gamma m_e}{r^3} \right)^{1/2}, \quad L_l \approx (m_l r^2 + I_l) \omega_l. \quad (3)$$

Но поскольку суммарный момент количества движения всей системы неизменен, то с учетом (3) мы можем, мысленно меняя расстояние до Луны, рассчитывать соответствующие величины момента вращения Земли

$$L_e = L_s - L_l(r) = 3,48 \cdot 10^{34} - L_l(r). \quad (4)$$

А отсюда можно определить, как зависит скорость вращения Земли от расстояния до Луны, и соответствующую механическую энергию вращения Земли

$$\omega_e = L_e / I_e. \quad W_e = \frac{I_e \omega_e^2}{2}. \quad (5)$$

В свою очередь, механическая энергия Луны, которая находится «в плену» гравитационного поля Земли, складывается из отрицательной потенциальной энергии гравитационного взаимодействия и положительной кинетической энергии.

Поэтому общую механическую энергию Луны определим приближенно, применив теорему о вириале, согласно которой в гравитационном поле средняя кинетическая энергия космических тел равна половине средней отрицательной потенциальной энергии. Поэтому искомая общая механическая энергия Луны является отрицательной величиной и равна половине потенциальной энергии:

$$W_l \approx -\gamma \frac{m_e m_l}{2r}. \quad (6)$$

Теперь у нас есть все необходимое для расчетов. Расстояние от Земли до Луны будем изменять в самых широких мыслимых пределах с шагом 2 тыс. км. Расчеты произведем с использованием приведенных выше формул в программе Microsoft Excel, а результаты для удобства анализа представим в виде графиков.

Итак, на рис. 1 показано, как происходит «передача» момента количества движения Земли Луне при увеличении расстояния между ними (суммарная величина момента количества движения сохраняется неизменной).

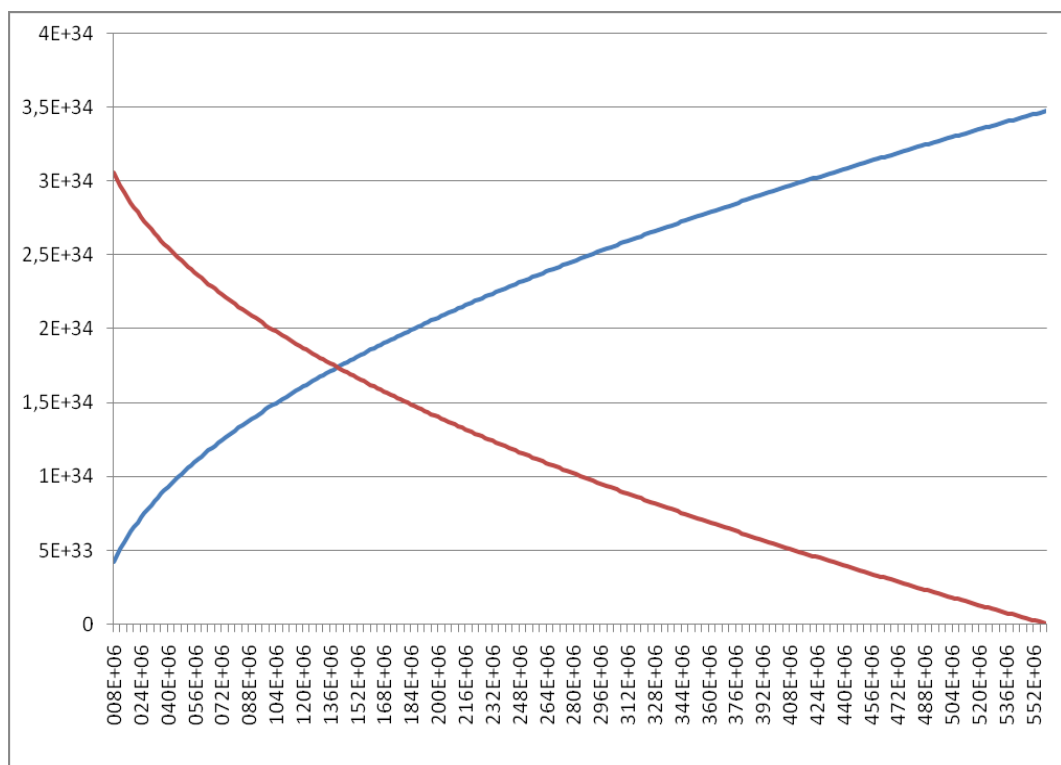


Рис.1. При увеличении расстояния между Луной и Землей происходит увеличение момента количества движения Луны за счет его уменьшения у Земли.

Интересно, что «передача» Луне момента количества движения Земли при увеличении расстояния между ними сопровождается замедлением вращения как Земли, так и Луны (вокруг Земли и своей оси). Соответственно происходит увеличение их периодов вращения (но с разной скоростью).

Рис. 2 показывает, что увеличение периода обращения Луны сначала очень сильно опережает рост периода вращения Земли, но затем, при очень больших расстояниях, Земля почти останавливается, и период ее вращения резко увеличивается, приближаясь к периоду вращения Луны вокруг Земли. Это совпадение периодов произойдет при значении, соответствующем 47,7 нынешних суток, когда расстояние между Землей и Луной будет около 556 тыс. км.

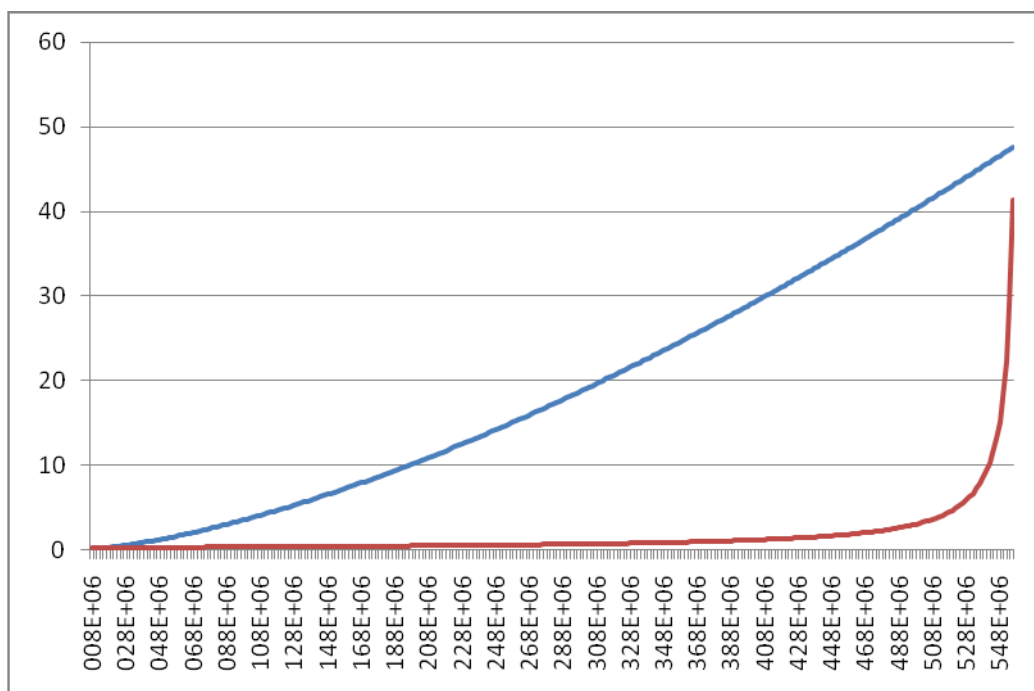


Рис. 2. Лунные «сутки» существенно больше земных (за исключением областей очень малых и очень больших r). Время дано в нынешних сутках (24 часа).

А теперь увеличим масштаб левой части рис. 2 и внимательнее рассмотрим ход кривых при малых расстояниях (рис. 3). Мы обнаружим, что в этой части кривые пересекаются, то есть, при малых r период вращения Луны должен быть меньше периода вращения Земли. Это пересечение имеет место при расстоянии около 14,5 тыс. км (рис. 3). Далее мы будем подробнее говорить о том, что происходит в этой точке пересечения. Во всяком случае, ясно, что при совпадении угловой скорости вращения Земли с угловой скоростью вращения Луны вокруг Земли, приливы «остановятся», и перестанет работать описанный выше механизм «раскручивания» Луны Землей.

Эта «особенная точка», как мы увидим, «проявит себя» и при анализе суммарной механической энергии системы Земля – Луна.

Таким образом, мы приступаем ко второй части расчетов.

Основываясь на уже полученных результатах, не сложно сделать расчеты механической энергии вращения Земли, механической энергии Луны (кинетической плюс потенциальной), а также суммарной механической энергии всей системы. Результаты расчетов представлены в виде графиков (в зависимости от расстояния r). Все три зависимости показаны на рис. 4.

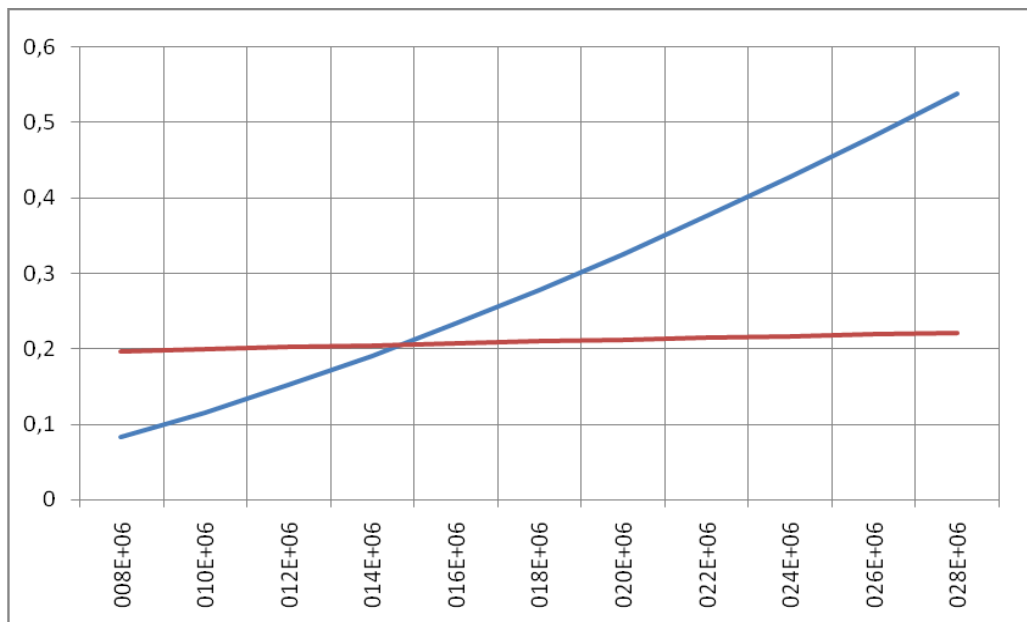


Рис. 3. При очень малых расстояниях между Землей и Луной период обращения Луны вокруг Земли мог бы быть меньше периода вращения Земли.

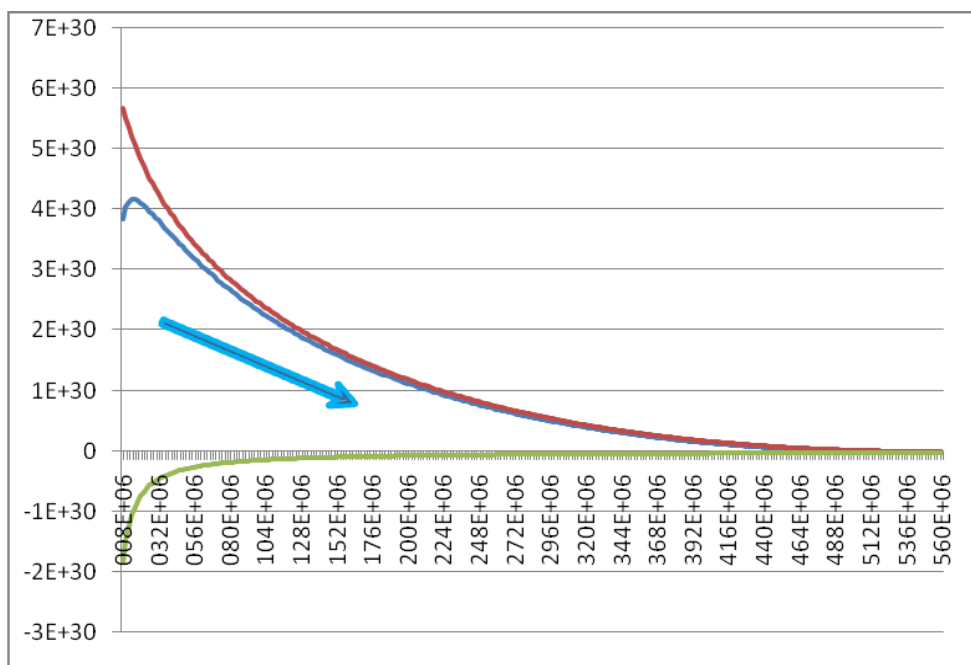


Рис. 4. Механическая энергия Земли (верхняя кривая), Луны (отрицательная) и всей системы. Стрелка показывает направление изменений.

На рис. 4 при малых расстояниях между Луной и Землей заметен максимум, который имеет суммарная механическая энергия системы. Чтобы внимательнее рассмотреть эту область опять увеличим масштаб (рис. 5).

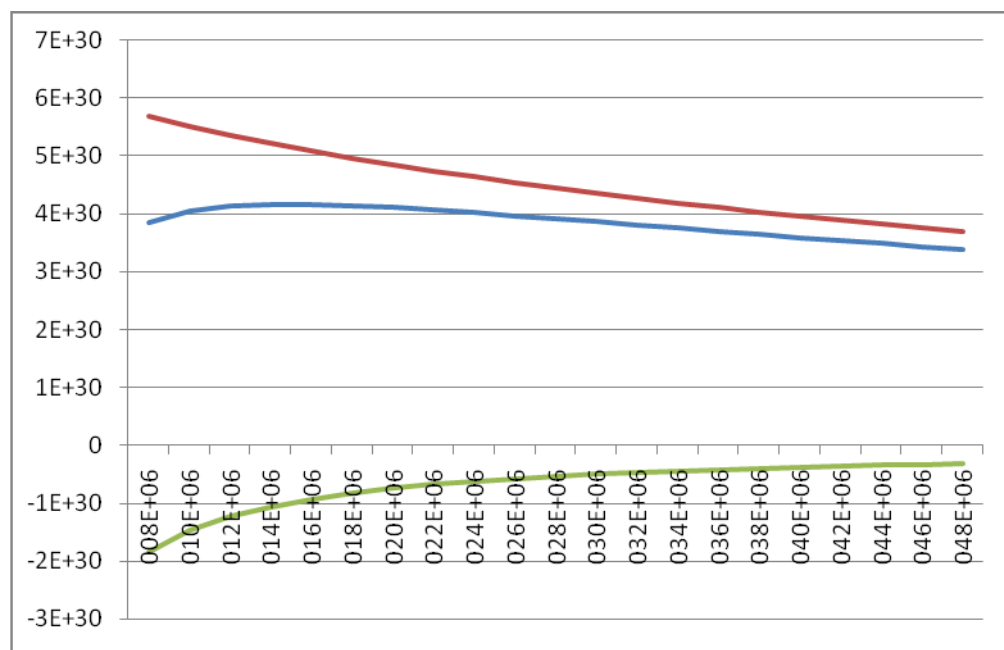


Рис. 5. Максимум суммарной механической энергии системы Земля-Луна достигается при расстоянии приблизительно 14,5 тыс. км.

Этот максимум механической энергии системы Земля-Луна находится в уже упоминавшейся «особой точке» (точке совпадения угловых скоростей вращения Земли и Луны) при расстоянии между Луной и Землей около 14,5 тыс. км.

Удобство представленных графиков для анализа главным образом состоит в том, что, найдя на любом из них точку, соответствующую нынешнему среднему расстоянию до Луны (384,4 тыс. км), можно наглядно представить себе, на каком этапе находятся сейчас эти поразительные по масштабам процессы, а также оценить открывающуюся перспективу. Кроме того, все параметры системы оказываются увязанными друг с другом, что весьма удобно для осуществления различного рода количественных оценок.

Например, зависимость периода вращения Земли вокруг своей оси от расстояния до Луны (нижняя кривая на рис. 2) дает возможность сделать оценку реально происходящих изменений. Действительно, экспериментальные данные говорят о том, что расстояние до Луны увеличивается за один год на 3,8 см, что согласно полученной зависимости означает, что земные сутки должны увеличиваться за 100 лет на 0,00212 секунды. Это соответствует имеющимся данным о замедлении скорости вращения Земли.

С другой стороны, полученная зависимость (от расстояния до Луны) суммарной механической энергии системы Земля-Луна говорит о том, что никакие изменения в этой системе были бы не возможны, если бы механическая энергия

системы не могла превращаться в тепловую энергию. В самом деле, закон сохранения энергии «запретил» бы такие изменения в замкнутой системе! И то, что они в действительности происходят, говорит о том, что для соблюдения закона сохранения любое уменьшение суммарной механической энергии происходит за счет ее превращения в тепловую энергию.

Процесс превращения механической энергии системы Земля-Луна в тепловую энергию происходит как раз за счет приливов. Это дает нам возможность сделать еще одну не менее интересную оценку, основываясь на тех же данных о среднегодовом увеличении расстояния до Луны на 3,8 см.

Электроэнергия, которая может быть получена за счет использования энергии приливов, естественным образом связана с происходящими изменениями механической энергии системы Земля-Луна (рис. 4). Отсюда получаем, что при оценке возможной суммарной мощности электростанций, использующих энергию приливов, следует ориентироваться на величину $3,1 \cdot 10^{12}$ Вт.

Много это, или мало? Эта величина оказывается ничтожно малой в сравнении с потоком энергии солнечного излучения, которое «перехватывается» Землей. Если посчитать площадь «тени», отбрасываемой Землей и умножить на плотность потока энергии, доходящей до земной поверхности (около 1 кВт), то мы получим весьма внушительную величину порядка $1,3 \cdot 10^{17}$ Вт.

Но, с другой стороны, суммарная мощность всех электростанций, действующих на земном шаре, составляет величину около $2,3 \cdot 10^{12}$ Вт, что оказывается соизмеримым с энергией, рассеиваемой приливами. Таким образом, можно констатировать, что энергетическая деятельность человечества достигла поистине «космических масштабов»!

Но вернемся к следствиям закона сохранения энергии и продолжим анализ зависимости общей энергии системы Земля-Луна, изображенной на рис. 5. Наличие максимума у этой функции при расстоянии между Землей и Луной около 14,5 тыс. км говорит о том, что Луна никогда не могла иметь орбиту, более близкую к Земле, чем это «критическое» расстояние.

Действительно, в противном случае, находясь ближе к Земле (по другую сторону от максимума), Луна не смогла бы удаляться от Земли, так как для этого потребовалось бы увеличение общей механической энергии системы. Но откуда ей взяться? Ведь превращение тепловой энергии в механическую энергию в такой системе невозможно. Таким образом, мы получили еще один аргумент против сценария «отрыва» и плавного удаления Луны от Земли.

Рассмотрим теперь внимательнее и ту часть рис. 4, которая соответствует большим расстояниям, снова увеличив масштаб по осям (рис 6).

Здесь, как и раньше, верхняя кривая – механическая энергия вращения Земли, а в области отрицательных значений находится механическая энергия Луны (потенциальная плюс кинетическая). Примечательным же является то, что суммарная механическая энергия всей системы Земля-Луна при увеличении расстояния переходит через нулевое значение (при расстоянии около 492 тыс. км) и становится отрицательной!

Таким образом, даже если расстояние между Луной и Землей будет увеличиваться и дальше, превысив 492 тыс. км, тем не менее, уже в этой точке судьба этой «пары» оказывается решенной – они никогда не расстанутся!

Подъем орбиты Луны требует постоянного «нецелевого расходования» механической энергии с переводом ее в тепло, в результате чего система «погрузится» в отрицательную область энергий – в гравитационную «яму».

Что же касается предельного расстояния, на которое сможет «уйти» Луна, то оно, вероятно, будет определяться моментом совпадения периодов вращения Земли вокруг своей оси и Луны - по своей орбите. Как уже отмечалось, в этот момент периоды будут равны 47,7 нынешних суток, а расстояние между Землей и Луной достигнет ориентировочно 556 тыс. км. В этом состоянии приливы «остановятся», и перестанет работать сам механизм «раскрутки» Луны.

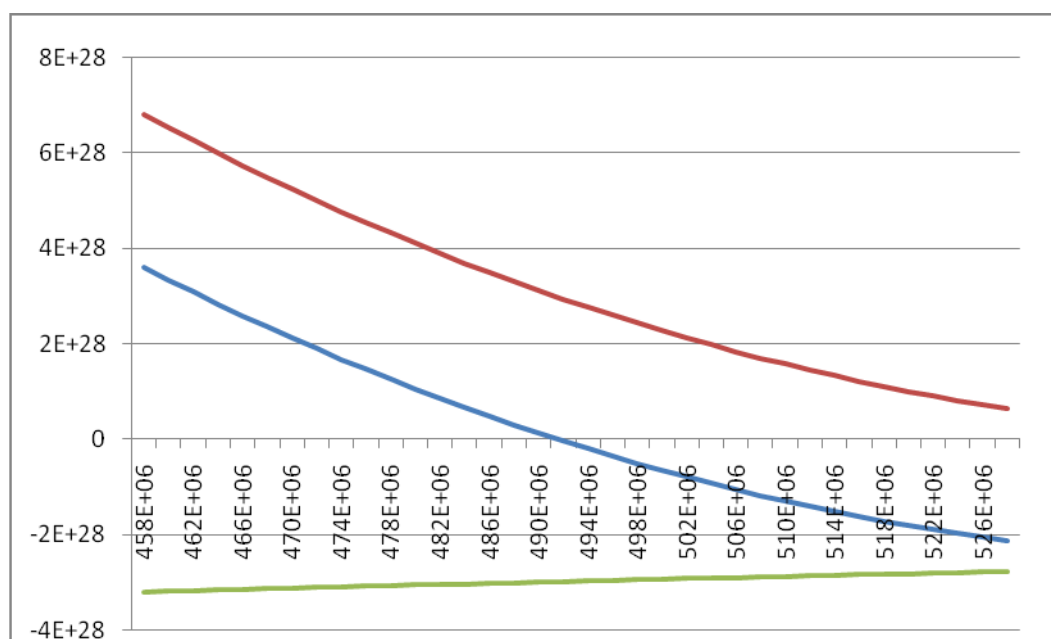


Рис. 6. Переход суммарной энергии системы в область отрицательных значений означает, что Луна никогда не «уйдет» от Земли.

Мы можем также утверждать, что Луна в будущем не будет приближаться к Земле, так как для этого нужно увеличивать суммарную механическую энергию системы, привлекая «сторонние ресурсы». Собственно говоря, именно эта причина является препятствием в осуществлении предполагаемого сценария гипотезы «захвата» Луны Землей с их последующим сближением.

Более того, рассмотренные особенности взаимодействия Луны и Земли дают нам еще одно подтверждение *принципа необратимости развития замкнутых систем*, присущего в целом «небесной механике», из-за имеющейся «утечки» механической энергии в тепловую энергию. Гравитационное взаимодействие огромных космических масс не только определяет характер их движения, но и является причиной относительно небольшого, но постоянно присутствующего процесса превращения механической энергии в тепловую

энергию. Обратный же процесс перехода тепловой энергии в механическую энергию, как известно, весьма затруднен.

Это еще раз напоминает нам о «векторе времени» в природе, то есть, о необратимости процессов, особенно заметной в живой природе, но присущей и «чисто механическим» системам космического масштаба.

Как лунное вещество было «извергнуто» из Земли?

Каким же образом Луна оказалась на орбите около Земли?

Мы достаточно наглядно убедились в том, что она действительно не могла «оторваться» от Земли и плавно перейти через «особую точку» 14,5 тыс. км, также как не могла и «прийти со стороны», поскольку это потребовало бы колоссальных затрат энергии из «сторонних источников».

Становится совершенно очевидным, что это могло произойти только в результате «заброса» вещества Луны в околоземное пространство.

Впрочем, это отнюдь не означает, что мы обязательно должны принять гипотезу столкновения «по касательной» Земли с загадочной «блуждающей» планетой, которой даже было дано романтическое имя Тейя.

Этот сценарий действительно предполагает колоссальный выброс вещества, однако вопрос о составе «выброшенного вещества» при этом не находит ответа (он должен быть смешанным), также как и вопрос о том, куда делась эта планета после столкновения «по касательной» с Землей.

Но «выброс» вещества мог происходить совершенно иначе!

Дело в том, что фактически остался без внимания еще один весьма вероятный механизм «доставки» вещества Земли на околоземную орбиту. Необходимо иметь в виду, что миллиарды лет назад Земля очень быстро вращалась и была значительно горячее (хотя и не была, как утверждают исследователи, полностью расплавленной). Поэтому в ту далекую эпоху столкновения крупных космических тел с Землей (коих тогда было великое множество) приводило к разрушению относительно тонкой земной коры, и эти глыбы исчезали в пучине расплавленного вещества Земли. Но достаточно представить себе падение камня в воду, чтобы понять какие огромные столбы расплава и «брызг» при этом поднимались в околоземное пространство!

На рис. 7 представлена одна из подобных «картинок».

Естественно, что огромных «всплесков» было много, и Луна могла образоваться даже не в результате какого-то единичного события, а в результате объединения вещества, «извергнутого» из Земли в течение довольно длительного «бурного» периода интенсивной бомбардировки Земли.

Однако читатель может сказать, что взметнувшееся таким образом вверх вещество «благополучно» падало обратно на поверхность Земли. Но это утверждение справедливо лишь отчасти. Значительная часть вещества действительно падала обратно, но так как мы имеем дело с быстро вращавшейся системой и с космическими скоростями падавших глыб, то высота подъема

«брызг» и скорость вращения могли оказаться достаточными для перевода земного вещества на околоземную орбиту.



Рис. 7. Падение в жидкость камня (или капли жидкости) вызывает обратный выброс в виде поднимающегося вверх «столба» жидкости и брызг.

Чтобы проиллюстрировать возможность выхода «извергнутого» вещества на околоземную орбиту, обратимся к уже начатым расчетам. Сравним скорость поверхности Земли в области экватора, определяемую вращением, со скоростью движения Луны на орбите.

Дело в том, что чем выше орбита Луны, тем меньшая скорость ей «нужна», чтобы «держаться» на орбите. Сейчас эта скорость составляет всего около 1 км/с. Скорость вращения Земли при этом тоже падает (рис. 8), а отношение скоростей меняется с увеличением расстояния в очень широких пределах.

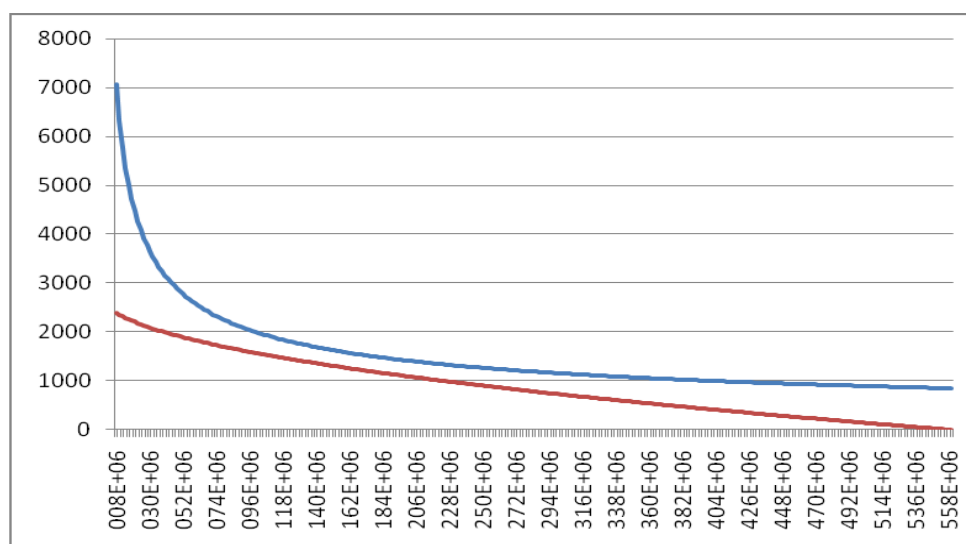


Рис. 8. Скорость Луны (верхняя кривая) и скорость поверхности Земли уменьшаются при увеличении расстояния между Луной и Землей.

На рис. 9 показано, как меняется отношение скорости поверхности Земли (тангенциальная скорость в результате вращения) к скорости движения Луны по орбите при изменении расстояния между Луной и Землей.

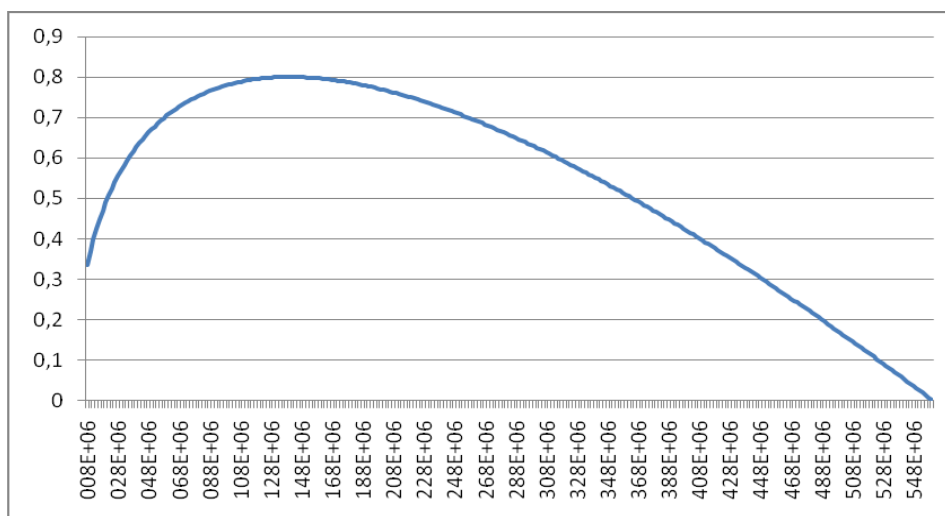


Рис. 9. Отношение скорости поверхности Земли к скорости Луны в зависимости от расстояния между Луной и Землей.

Видно, что в далеком прошлом эти скорости сближались:
 при расстоянии 60 тыс. км скорость поверхности Земли достигала 70% от скорости движения Луны по орбите;
 при 140 тыс. км наблюдался максимум в 80%, а при дальнейшем увеличении расстояния это отношение медленно уменьшалось.

Таким образом, «извергнутое» с поверхности Земли вещество (если высота выброса имела некоторый «запас» и покрывала указанный недостаток скорости в 20 – 30%) действительно могло удерживаться на околоземной орбите. А если учесть, что масса Луны почти на два порядка (в 81 раз) меньше массы Земли, то такой «способ доставки» относительно небольшого количества вещества на околоземную орбиту представляется вполне реальным.

Ранний период жизни Луны

После того, как Луна сформировалась, ее собственная угловая скорость вращения не совпадала с угловой скоростью вращения вокруг Земли. Поэтому в «молодые годы» Луна поворачивалась относительно Земли, а не была к ней обращена все время одной и той же стороной, как сейчас.

Почему мы говорим об этом с такой уверенностью?

С одной стороны, само по себе абсолютно точное совпадение этих скоростей вращения в процессе формирования нашего спутника было бы весьма

маловероятным, а с другой стороны, анализируя особенности поверхности самой Луны, можно найти множество подтверждений этого несовпадения.

Более того, выравнивание скоростей вращения, произошедшее уже значительно позже, отразилось самым драматическим образом не только на состоянии поверхности Луны, но и на ее внутренней структуре.

Именно тогда произошли колоссальные разливы расплавленной магмы на видимой стороне Луны, названные «морями» и «океанами». Это впечатляющее событие в жизни Луны навсегда определило ее облик. Попробуем представить себе, как развивался этот грандиозный по своим масштабам процесс.

Итак, в самом начале, когда Луна достаточно медленно, но все-таки еще поворачивалась разными сторонами относительно Земли, поверхность Луны подвергалась равномерной бомбардировке метеоритами. Однако под влиянием мощных приливов, существовавших на Луне (из-за малого расстояния до Земли) скорость вращения Луны постепенно уменьшалась. И наконец, около 3,5 миллиардов лет назад видимое с Земли вращение прекратилось, перейдя в постепенно затухающее качание наподобие маятника вокруг точки равновесия, после чего Луна навсегда повернулась к Земле одной стороной.

К каким последствиям это привело?

Важнейшим из этих последствий явилось то, что неоднородность сил, действующих на вещество Луны, вызвала деформацию и перераспределение вещества – центр тяжести Луны сместился в сторону Земли и перестал совпадать с геометрическим центром.

Образно говоря, *на каждый кубический метр вещества* Луны, масса которого численно равна плотности ρ , действует сила гравитационного притяжения Земли (обратно пропорционально квадрату расстояния до ее центра) и центробежная сила (прямо пропорционально этому расстоянию):

$$f_s = \frac{\rho v^2}{r} - \gamma \frac{\rho M}{r^2} = \rho \omega_l^2 r - \gamma \frac{\rho M}{r^2}. \quad (7)$$

Луна имеет достаточно большие размеры, и поэтому дальняя ее часть испытывает на себе суммарную силу отталкивания от Земли, а ближняя, наоборот, испытывает суммарную силу притяжения к Земле. И только где-то вблизи центра суммарная сила f_s равна нулю (рис. 10, полагаем $\rho = 1$). Кроме того, из-за достаточно больших размеров Луна ощущает на себе и нелинейность действующих сил (рис. 11). Можно сказать, что эти силы не только испытывают Луну «на разрыв», но и смещают ее центр тяжести!

Попробуем подробнее разобраться, как это происходит.

Результирующая сила (центробежная сила плюс сила гравитационного притяжения к Земле), действующая на каждый килограмм вещества Луны (рис. 10), производит впечатление величины, линейно зависящей от расстояния до Земли. Поэтому, чтобы выявить «почти незаметные» особенности суммарной силы f_s (7), нам придется провести дополнительные вычисления (полагаем $\rho = 1$).

Используя рис. 10, будем отдаляться от центра (где сила равна нулю) шаг за шагом, и складывать силы, действующие на вещество Луны в симметрично

расположенных относительно центра точек. Так как в таких симметрично расположенных точках сила f_s имеет противоположные знаки, то итог суммирования покажет, какая из этих сил больше по абсолютной величине, а получающийся в результате график зависимости (от расстояния до центра) «попутно» выявит и нелинейность. Результат вычислений показан на рис. 11.

Для осуществления этих построений диаметр Луны, ориентированный в сторону Земли, был разбит на 30 отрезков (по 15 с каждой стороны относительно центра). Затем попарно сложенные силы в симметрично расположенных точках пронумерованы в зависимости от их расстояния до центральной (нулевой) точки.

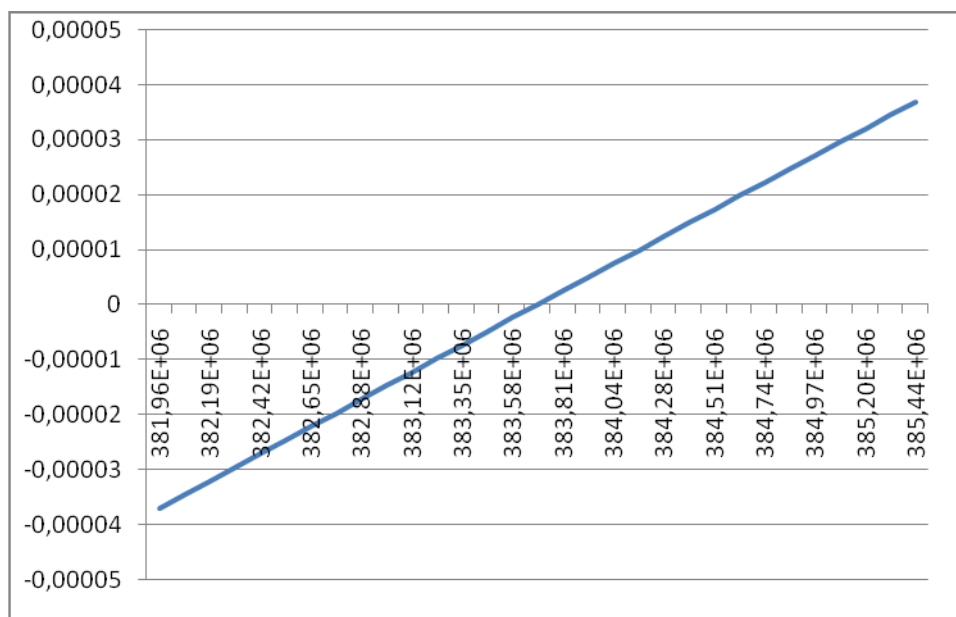


Рис. 10. Вещество Луны, расположенное ближе к Земле, испытывает силу притяжения, а дальние области испытывают воздействие отталкивающей силы.

Графики, показанные на рис. 10 и рис. 11, дают возможность оценить последствия, которые принесли с собой *принципиально новые условия*, возникшие после прекращения наблюдаемого с Земли вращения Луны.

Во-первых, при симметричном расположении вещества Луны относительно «нулевой» центральной точки, общее равновесие сил, как суммарный нулевой итог по всему веществу, оказывается принципиально недостижимым. Этот вывод является очевидным следствием того, что попарно сложенные силы в симметричных точках всегда дают преобладание силы притяжения (рис. 11).

Второй важный вывод заключается в том, что «рассогласование» противоборствующих сил (центробежной силы и силы притяжения к Земле) очень быстро нарастает при удалении от «нулевой» точки (где они равны друг другу).

Обе эти особенности суммарной силы, очевидно, привносятся силой притяжения, которая обратно пропорциональна квадрату расстояния до Земли, в отличие от линейной зависимости центробежной силы.

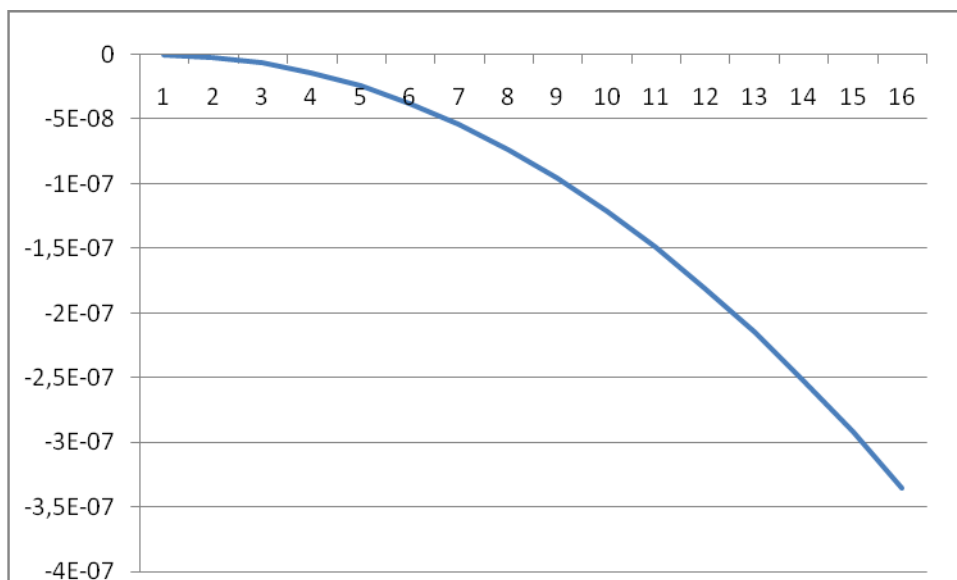


Рис. 11. График, демонстрирующий несимметричность и нелинейность суммарной силы, действующей на вещество Луны.

Такое «доминирование» и нелинейность гравитационных сил Земли привели к тому, что центр тяжести Луны, где располагается более плотное ядро, оказался смещенным в сторону Земли. Именно это смещение центра тяжести в сочетании с качанием вокруг точки равновесия привело к деформации и раздроблению «на мелкие кусочки» твердой оболочки Луны.

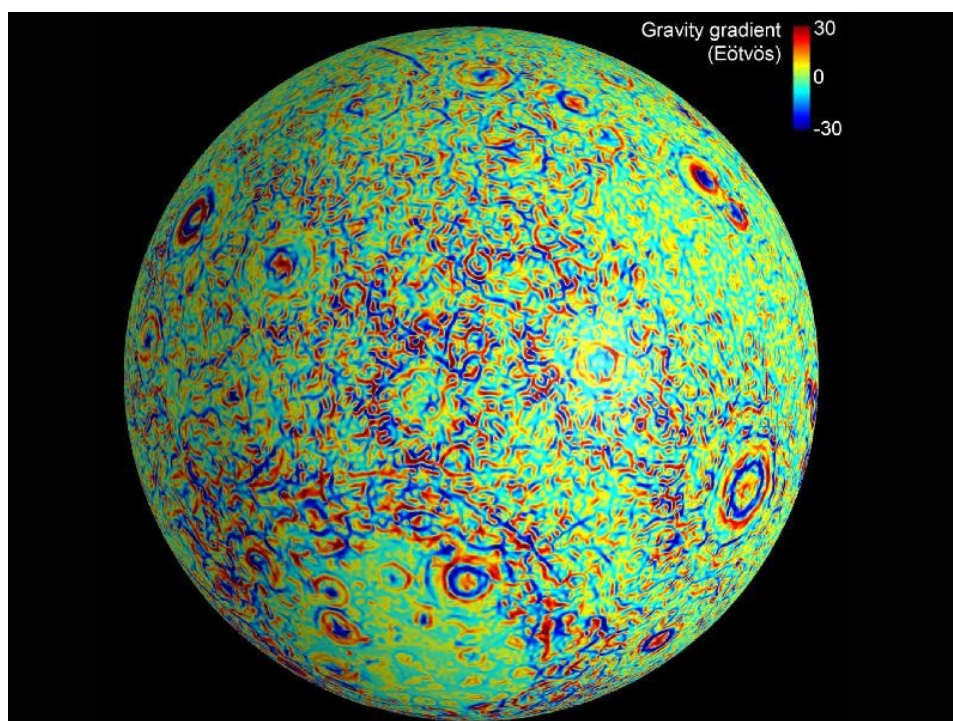


Рис. 12. Градиенты гравитационного поля Луны [4].

Совсем недавно при зондировании гравитационного поля Луны были обнаружены явные признаки такого раздробления (рис. 12). К тем же далеким временам относятся «странные» *внутренние линейные разломы* колоссальных размеров, которые невозможно объяснить метеоритной бомбардировкой.

Поэтому сразу же после произошедшего «ориентирования» Луны одной стороной к Земле, во внутренние разломы «измельченной» оболочки начала проникать жидкая магма, постепенно затопливая низины и образуя «моря» и «океаны», которые мы и поныне наблюдаем на поверхности Луны.

Несомненно, что такому свободному разливу магмы по поверхности Луны, постоянно обращенной к Земле, в немалой степени способствовал «подогрев», создаваемый мощным потоком тепла от горячей поверхности Земли. Не будем забывать, что в те далекие времена Луна была значительно ближе к Земле, а Земля была в «почти расплавленном» состоянии.

Внимательно рассматривая подробную съемку поверхности Луны, можно найти множество подтверждений описанным выше событиям. В частности, во многих местах видно, что расплавленная магма действительно просачивалась из глубинных слоев, оказываясь даже внутри кольцевых горных массивов и «старых» кратеров, а возвышенности буквально «плавали», перемещаясь под воздействием потоков расплавленной магмы (рис. 13).

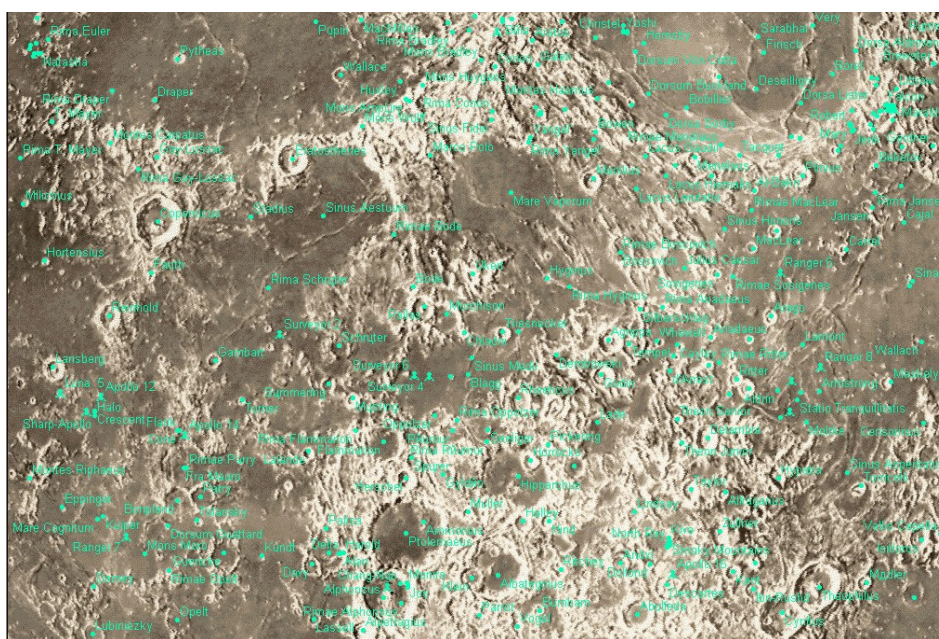


Рис. 13. Расплавленная магма просачивалась изнутри и заливала низины и «старые» кратеры [5].

Видно также, что расплавленная магма заливала уже сложившийся задолго до этого рельеф поверхности с характерными следами длительной интенсивной метеоритной бомбардировки. Этот рельеф как раз был сформирован в период, предшествовавший прекращению видимого с Земли вращения Луны вокруг оси.

Исследования показали, что разливы магмы действительно происходили почти на миллиард лет позже образования самой Луны.

В этот период заливаемая расплавом поверхность Луны продолжала подвергаться метеоритной бомбардировке. Поэтому в местах падения метеоритов возникали непосредственные «проходы» для магмы на поверхность в виде пробоин в размягнутой оболочке. Такие пробоины, заполненные тяжелой лавой, образовали гравитационные аномалии, названные *масконами*. Исходя из рассмотренного механизма образования этих гравитационных аномалий, нет ничего удивительного в том, что они располагаются, как правило, в центре больших разливов магмы на видимой стороне Луны.

На обратной стороне имели место противоположные эффекты.

Там возникали отрицательные гравитационные аномалии, так как расплавленные недра Луны имели «тенденцию оттока» в противоположную сторону. А замещали их в приповерхностных слоях более легкие породы, в результате чего кора становилась толще, холоднее и прочнее, а горы – выше.

Таким образом, последствия остановки видимого вращения Луны оказались для нее по-настоящему драматичными! Они буквально потрясли ее, вызвав разрушение и измельчение твердой оболочки с последующим невиданным разливом расплавленной магмы по поверхности. Произошло изменение внешней формы, смещение центра тяжести и деформация внутренней структуры.

Зато в ходе этих испытаний Луна приобрела свое неповторимое лицо с немного грустными «глазами», созерцающими уже многие тысячелетия нашу странную суетную жизнь на Земле.

Заключение

Мы не могли, да и не ставили перед собой задачи ответить на все вопросы загадочной истории «взаимоотношений» Луны и Земли. Чем глубже в далекое прошлое мы пытаемся заглянуть, тем труднее это сделать. Однако в целом картина все-таки прояснилась, приоткрыв некоторые тайны прошлого и показав возможное развитие событий в будущем.

Полезным инструментом при проведении этого «расследования» оказались расчеты и анализ основных механических параметров системы Земля-Луна.

В частности, проведенные расчеты дали возможность получить наглядные дополнительные аргументы против версии возникновения Луны в результате «отрыва» от Земли, впрочем, как и против версии ее «захвата со стороны». Максимум суммарной механической энергии системы Земля-Луна, имеющийся в «особой точке» (при расстоянии от Луны до Земли около 14,5 тыс. км), указывает на невозможность плавного удаления Луны от Земли с переходом через это критическое расстояние. С другой стороны, захват стороннего космического тела и перевод его на относительно низкую орбиту вокруг Земли оказывается не возможным из-за колоссальных затрат энергии из «стороннего» источника, которые требуются для реализации этого сценария развития событий.

Можно отказаться и от сомнительной гипотезы образования Луны вследствие столкновения Земли «по касательной» с загадочной «блуждающей» планетой. Дело в том, что из-за очень быстрого вращения Земли вокруг своей оси в далеком прошлом скорость на экваторе достигала 70-80% от скорости движения Луны по околоземной орбите. С учетом этого земное вещество могло быть «заброшено» на орбиту в процессе бомбардировки Земли крупными метеоритами. Падение больших космических тел на «почти расплавленную» Землю было тогда отнюдь не редкостью и вызывало обратный всплеск с мощным выбросом вверх расплавленного вещества. Учитывая, что масса Луны почти на два порядка (в 81 раз) меньше массы Земли, «заброс» такого количества вещества на околоземную орбиту вследствие интенсивной бомбардировки поверхности Земли космическими телами представляется вполне реальным.

Следует учесть, что только Земля среди планет солнечной системы имела столь большую скорость вращения. Земные сутки составляли около 5 часов! Именно эта особенность Земли сделала возможным такой простой и эффективный способ «вывода» вещества на околоземную орбиту и обеспечила нашей планете истинную привилегию в виде очаровательной «спутницы».

Рассмотренный нами механизм «доставки» на околоземную орбиту вещества, давший начало образованию Луны, предполагает, что этим веществом, в основном, была расплавленная мантия верхних слоев Земли.

Это находит свое отражение в удивительной однородности вещества Луны и в его относительно небольшой плотности.

Обращает на себя внимание и то, что эти застывшие магматические массы придают поверхности Луны удивительную прочность. Поэтому даже крупные метеориты, врезающиеся в поверхность Луны с колоссальными скоростями, не оставляют глубоких повреждений – кратеры обычно имеют относительно малую глубину в сравнении с диаметром воронки.

Закономерным выглядит и то, что у Луны практически отсутствует плотное ядро, которое обычно состоит из тяжелых металлов. По этой причине в составе Луны трудно также ожидать присутствия достаточного количества радиоактивных материалов для осуществления внутреннего разогрева за счет ядерных реакций.

Анализ механических характеристик системы наглядно показал, что наблюдаемое отдаление Луны от Земли было бы не возможно без параллельного процесса превращения механической энергии системы в тепловую энергию за счет приливов. Эта мощность, которую приливы переводят в тепло ($3,1 \cdot 10^{12}$ Вт), имеет тот же порядок величины, что и мощность всех имеющихся электростанций на Земле - около $2,3 \cdot 10^{12}$ Вт. Этот же процесс превращения механической энергии системы в тепло делает отдаление Луны от Земли необратимым.

Такая необратимость развития системы является еще одним напоминанием о существовании своеобразного «вектора времени» в природе, а в данном случае – в «чисто механических» процессах космического масштаба.

Расчеты дали возможность наглядно убедиться и в том, что наблюдаемое уменьшение продолжительности земных суток в среднем на 0,002 с за 100 лет в конечном итоге связано с удалением Луны от Земли (на 3,8 см в год).

Вместе с тем, дальнейшее увеличение расстояния Земля-Луна за пределы «критического» значения - около 492 тыс. км, приведет к переходу общей механической энергии системы в область отрицательных значений. Это означает, что процесс превращения общей механической энергии системы в тепло, сопровождающий удаление Луны от Земли, в конце концов, сформирует «потенциальную яму», и Луна никогда не сможет «уйти» от Земли.

Предельным расстоянием до Луны будет 556 тыс. км, при котором земные и лунные сутки станут одинаковыми и составят 47,7 нынешних земных суток.

Но наиболее интересные результаты дало «расследование» событий, в результате которых Луна покрылась «морями» и «океанами».

Этот невероятный по своим масштабам разлив расплавленной магмы начался ориентировочно миллиард лет спустя после «рождения» Луны.

В предшествовавший этой трагедии период Луна вращалась, поворачиваясь к Земле то одной, то другой стороной. Поэтому ее поверхность оказалась довольно равномерно «украшена» кратерами от интенсивной бомбардировки метеоритами. Но именно в это время из-за мощных приливов вращение Луны вокруг своей оси постепенно замедлялось, приближая неизбежные катастрофические события.

Дело в том, что неоднородность гравитационного поля Земли привела к смещению центра тяжести Луны, и поэтому остановка вращения (относительно направления Луна-Земля) сменилась затухающими колебаниями Луны вокруг положения равновесия. Сочетание этих процессов привело к разрушению и последующему измельчению твердой оболочки Луны.

В результате, через образовавшиеся трещины под воздействием неоднородного гравитационного поля Земли началось повсеместное истечение раскаленного жидкого вещества недр на поверхность Луны.

Следует особо подчеркнуть, что разливы расплавленной магмы по видимой поверхности Луны достигли столь впечатляющих масштабов из-за совпадения сразу нескольких способствовавших этому факторов:

- остановка вращения и последовавшие за этим колебательные движения Луны на фоне смещения ее центра тяжести приводили к разрушению и постоянному «перетряхиванию» фрагментов твердой оболочки Луны;
- неоднородность сил гравитации в те далекие времена была намного больше, так как расстояние до Земли было существенно меньше;
- действовал фактор дополнительного подогрева видимой поверхности Луны из-за близости раскаленной, «почти расплавленной» Земли.

Фотографии Луны дают возможность и в наши дни ощутить размах этого ужасающего события. Расплавленная магма повсеместно просачивалась изнутри на поверхность, пропитывая пористую кору, заливая низменности, проникая внутрь древних кратеров и деформируя целые горные массивы. Видимая поверхность Луны превратилась в огромное огнедышащее море!

Разливы магмы происходили в течение длительного периода, а не были однократным процессом, так как Луна совершала разрушительные колебательные движения, а метеоритная бомбардировка все еще оставалась интенсивной.

Складывается впечатление, что еще немного и вся видимая поверхность Луны была бы заполнена расплавом! К счастью, этого не произошло, и мы имеем возможность созерцать этот удивительный романтичный лик Луны.

По своим масштабам происходившие тогда процессы даже трудно сравнивать с относительно небольшими локальными разрушениями от ударов отдельных метеоритов. В то же время, удары крупных метеоритов по размягченной видимой поверхности Луны делали глубокие пробоины в твердой оболочке, которые тут же заполнялись тяжелой лавой. Так образовались гравитационные неоднородности, названные *масконами*.

Теперь Луна уже не так молода, она несколько остыла и почти успокоилась, но не утратила очарования, привлекая наши восторженные взоры, продолжая интриговать и будоражить наше воображение так и не раскрытыми еще тайнами.

Литература

1. Галимов Э.М., академик, ГЕОХИ РАН. Происхождение Луны. Российская концепция против «американской». "ЗиВ", №6/2005 г.
<http://ziv.telescopes.ru/rubric/astronomy/index.html?pub=9>
2. Верин О.Г. Солитон и физика.
<http://technic.itizdat.ru/users/verin>
3. Физические величины. Справочник. Энергоатомиздат. 1991 г.
4. Гравитационное поле Луны, измеренное миссией NASA GRAIL
<http://universetoday-rus.com/blog/2012-12-22-838>
5. Карта Луны. <http://astroweb.ru/maps/moonmap.htm>