Происхождение Луны

По современным данным во многих отношениях Луна весьма отличается от Земли, в первую очередь, химическим составом: практически нет воды (хотя в приполярных областях обнаружены заметные запасы льда[1]), малое содержание летучих элементов и соединений. Анализ лунных пород даёт основание полагать, что Луна подверглась полному расплавлению, в отличие от Земли. Плотность Луны сравнима с плотностью земной мантии, но у неё очень маленькое железо-никелевое ядро.

Однако обнаружено и большое сходство Земли и Луны. Радиоизотопный анализ показывает, что оба небесных тела имеют примерно одинаковый возраст: около 4,5 миллиардов лет. Соотношение стабильных изотопов кислорода на Луне и на Земле совпадает, в то же время сильно отличаясь от такого соотношения у всех известных метеоритов. Это свидетельствует о том, что Земля и Луна образовались по соседству — из вещества, находившегося на одинаковом расстоянии от Солнца в протопланетном облаке.

Такое сочетание общих свойств и существенных различий в строении Луны и Земли породило три группы взаимоисключающих предположений о происхождении Луны: 1) совместное образование Земли и Луны из одного протопланетного облака, 2) захват уже сформированной Луны Землёй, 3) образование Луны в результате гигантского столкновения.

Сходство и различия Земли и Луны

Любая рассматриваемая гипотеза образования Луны должна не только соответствовать физическим законам, но и объяснять следующие обстоятельства:

•Средняя плотность Луны составляет 3,3 г/см³, значительно уступая средней плотности Земли — 5,5 г/см³. Причина — у Луны очень маленькое железо-никелевое ядро — оно составляет всего 2-3 % от общей массы спутника (по данным миссии NASA

«*Lunar Prospector*»). Металлическое ядро Земли составляет около 30 % массы планеты.

•Луна, по сравнению с Землей, имеет весьма низкое содержание легколетучих элементов, таких, как водород, азот, фтор, инертные газы. И напротив, на Луне наблюдается некоторый излишек относительно тугоплавких элементов, например, титана, урана и тория.

•Породы лунной коры и породы земной коры и мантии практически идентичны по соотношению стабильных изотопов кислорода

16O, 17O, 18O (это соотношение иногда называют «кислородной подписью»). Для сравнения, метеориты из разных частей Солнечной системы (в том числе и т. н.марсианские метеориты) имеют совершенно другие соотношения изотопов кислорода. Такая идентичность свидетельствует о том, что Земля и Луна (или, как минимум, поверхность Луны) сформировались из одного слоя планетезималей — на одинаковом расстоянии от Солнца.

•Луна имеет мощную прочную кору толщиной в 60-80 километров (в несколько раз толще земной коры), образованную из анортозитовых пород — продуктов плавления лунной мантии. Поэтому полагают, что Луна когда-то была нагрета до полного

расплавления. Земля, как считается, никогда не была полностью расплавленной.

•Луна и Земля имеют необычно высокое отношение массы спутника к массе планеты, равное 1:81, в сравнении с остальными спутниками планет Солнечной системы. (Выше — только у Харона и Плутона, но последний уже не считается планетой);

•Система Земля—Луна обладает необычно высоким угловым моментом импульса (уступая, опять же, только системе Плутон— Харон).

•Плоскость орбиты Луны (наклон 5° к эклиптике) не совпадает с экваториальной плоскостью Земли (наклон 23,5° к эклиптике).

На основании этого были выдвинуты следующие гипотезы:

•**Гипотеза центробежного разделения**: от быстро вращающейся протоземли под действием центробежных сил отделился кусок вещества, из которого затем образовалась Луна. Эту гипотезу в шутку называют «дочерней».

•**Гипотеза захвата**: Земля и Луна образовались независимо, в разных частях Солнечной системы. Когда Луна проходила близко к земной орбите, она была захвачена гравитационным полем Земли и стала её спутником. Эту гипотезу в шутку называют

«супружеской».

•**Гипотеза совместного образования**: Земля и Луна образовались одновременно, в непосредственной близости друг от друга (в шутку — «сестринская» гипотеза).

•**Гипотеза испарения**: из расплавленной протоземли были выпарены в пространство значительные массы вещества, которое затем остыло,сконденсировалось на орбите и образовало протолуну.

•**Гипотеза многих лун**: несколько маленьких лун были захвачены гравитацией Земли, затем они столкнулись друг с другом,

разрушились, и из их обломков образовалась нынешняя Луна.

•**Гипотеза столкновения**: протоземля столкнулась с другим небесным телом, а из выброшенного при столкновении вещества образовалась Луна.

Одной из главных целей американских лунных экспедиций 1960—1970 годов было найти доказательства одной из трёх лидировавших тогда гипотез «Большой тройки» (гипотезы центробежного отделения, захвата и совместной аккреции). Но первые же полученные данные обнаружили серьёзные противоречия со всеми тремя гипотезами. Все накопленные к настоящему моменту факты, как считается, свидетельствуют в пользу гипотезы, которой во время полётов «Аполлонов» ещё не существовало: гипотезы гигантского столкновения.

**Орбита**

С древних времён люди пытались описать и объяснить движение Луны. Со временем появлялись всё более точные теории. Основой современных расчётов является теория Брауна. Созданная на рубеже XIX—XX веков, она описывала движение Луны с

точностью измерительных приборов того времени. При этом в расчёте использовалось более 1400 членов (коэффициентов и аргументов при тригонометрических функциях).

Современная наука может рассчитывать движение Луны и проверять эти расчёты с ещё большей точностью. Методами лазерной локации расстояние до Луны измеряется с ошибкой в несколько сантиметров. Такую точность имеют не только измерения, но и теоретические предсказания положения Луны; для таких расчётов используются выражения с десятками тысяч членов и не существует предела их количества, если потребуется ещё более высокая точность.

В первом приближении можно считать, что Луна движется по эллиптической орбите сэксцентриситетом 0,0549 и большой полуосью 384 399 км. Реальное движение Луны довольно сложное, при его расчёте необходимо учитывать множество факторов, например, сплюснутость Земли и сильное влияние Солнца, которое притягивает Луну в 2,2 раза сильнее, чем Земля.

Более точно движение Луны вокруг Земли можно представить как сочетание нескольких движений:

•вращение вокруг Земли по эллиптической орбите с периодом 27,32166 суток, это так называемый *сидерический месяц* (то есть движение измерено относительно звёзд);

•поворот плоскости лунной орбиты: её узлы (точки пересечения орбиты с эклиптикой) смещаются на запад, делая полный оборот за 18,6 лет. Это движение является прецессионным;

•поворот большой оси лунной орбиты (линии апсид) с периодом 8,8 лет (происходит в противоположном направлении, чем указанное выше движение узлов, то есть долгота перигея увеличивается);

•периодическое изменение наклона лунной орбиты по отношению к эклиптике от 4°59′ до 5°19′;

•периодическое изменение размеров лунной орбиты: перигея от 356,41 до 369,96 тыс. км, апогея от 404,18 до 406,74 тыс. км;

•постепенное удаление Луны от Земли вследствие приливного ускорения (примерно на 4 см в год), таким образом, её орбита представляет собой медленно раскручивающуюся спираль.

**Общее строение**

Луна состоит из коры, верхней мантии (астеносферы), средней мантии, нижней мантии и ядра.Атмосфера практически отсутствует. Поверхность Луны покрыта так называемым реголитом — смесью тонкой пыли и скалистых обломков, образующихся в результате столкновений метеоритов с лунной поверхностью. Ударно-взрывные процессы, сопровождающие метеоритную бомбардировку, способствуют взрыхлению и перемешиванию грунта, одновременно спекая и уплотняя частицы грунта. Толщина слоя реголита составляет от долей метра до десятков метров.

Толщина коры Луны меняется в широких пределах от 0 до 105 км. По данным со спутников гравитационной разведки GRAIL, толщина лунной коры больше на том полушарии, которое обращено к Земле.

Луна — дифференцированное тело, она имеет геохимически различную кору, мантию и ядро. Оболочка внутреннего ядра богата железом, она имеет радиус 240 км, жидкое внешнее ядро состоит в основном из жидкого железа с радиусом примерно 300—330 километров. Вокруг ядра находится частично расплавленный пограничный слой с радиусом около 480—500 километров. Эта структура, как полагают, появилась в результате фракционной кристаллизации из глобального океана магмы вскоре после образования Луны 4,5 миллиарда лет назад. Лунная кора имеет в среднем толщину ~ 50 км.

Состоит лунное ядро из железа, с небольшим количеством примесей серы и никеля

**Условия на поверхности Луны**

Атмосфера Луны крайне разрежена. Когда поверхность не освещена Солнцем, содержание газов над ней не превышает 2,0·105 частиц/см³ (для Земли этот показатель составляет 2,7·1019 частиц/см³), а после восхода Солнца увеличивается на два порядка за счёт дегазации грунта. Разрежённость атмосферы приводит к высокому перепаду температур на поверхности Луны (от −160

°C до +120 °C), в зависимости от освещённости; при этом температура пород, залегающих на глубине 1 м, постоянна и равна −35

°C. Ввиду практического отсутствия атмосферы, небо на Луне всегда чёрное, со звёздами, даже когда Солнце находится над горизонтом.

Земной диск висит в небе Луны почти неподвижно. Причины небольших ежемесячных колебаний Земли по высоте над лунным горизонтом и по азимуту (примерно по 7°) такие же, как у либраций. Угловой размер Земли при наблюдении с Луны в 3,7 раз больше, чем лунный при наблюдении с Земли, а закрываемая Землёй площадь небесной сферы в 13,5 раз больше, чем закрываемая Луной. Степень освещённости Земли, видимая с Луны, обратна лунным фазам, видимым на Земле: в полнолуние c Луны видна неосвещённая часть Земли, и наоборот. Освещение отражённым светом Земли примерно в 50 раз сильнее, чем освещение лунным светом на Земле, максимальная видимая звёздная величина Земли на Луне составляет приблизительно

−16m.

***Минералогия Луны***

Благодаря её размеру и составу Луну иногда относят к планетам земной группы наряду с Меркурием,Венерой, Землёй и Марсом. Изучая геологическое строение Луны, можно многое узнать о строении и развитии Земли.

Толщина коры Луны в среднем составляет 68 км, изменяясь от 0 км под лунным морем Кризисов до 107 км в северной части кратера Королёва на обратной стороне. Под корой находится мантия и, возможно, малое ядро из сернистого железа (радиусом приблизительно 340 км и массой, составляющей 2 % массы Луны). Любопытно, что центр масс Луны располагается примерно в 2 км от геометрического центра по направлению к Земле. На той стороне, которая повёрнута к Земле, кора более тонкая. По результатам миссии «Кагуя» было установлено, что в Море Москвытолщина коры наименьшая для всей Луны— п очти 0 метров под слоем базальтовой лавы толщиной 600 метров.

Измерения скорости спутников «Лунар Орбитер» позволили создать гравитационную карту Луны. С её помощью были обнаружены уникальные лунные объекты, названные масконами (от англ. *mass concentration*) — это массы вещества повышенной плотности.

Луна не имеет магнитного поля, хотя некоторые из горных пород на её поверхности проявляют остаточный магнетизм, что указывает на возможность существования магнитного поля Луны на ранних стадиях развития.

Не имеющая ни атмосферы, ни магнитного поля, поверхность Луны подвержена непосредственному воздействию солнечного ветра. В течение 4 млрд лет водородные ионы из солнечного ветра внедрялись в реголит Луны. Таким образом, образцы реголита, доставленные миссиями «Аполлон», оказались очень ценными для исследования солнечного ветра.

В феврале 2012 года американские астрономы обнаружили на обратной стороне Луны несколько геологических новообразований. Это свидетельствует о том, что лунные тектонические процессы продолжались ещё как минимум 950 миллионов лет после предполагаемой даты геологической «смерти» Луны.

**Пещеры**

Японским зондом Кагуя обнаружено отверстие в поверхности Луны, расположенное недалеко от вулканического плато Холмы Мариуса, предположительно ведущее в тоннель под поверхностью. Диаметр отверстия составляет около 65 метров, а глубина, предположительно, 80 метров.

Учёные считают, что подобные тоннели сформированы путём затвердевания потоков расплавленной породы, где в центре застыла лава. Данные процессы происходили в период вулканической активности на Луне. Подтверждением данной теории является наличие извилистых борозд на поверхности спутника.

Подобные тоннели могут послужить для колонизации, благодаря защите от солнечной радиации и замкнутости пространства, в котором проще поддерживать условия жизнеобеспечения.

Похожие отверстия имеются и на Марсе.

**Сейсмология**

Оставленные на Луне экспедициями «Аполлон-12», «Аполлон-14», «Аполлон-15» и «Аполлон-16» четыре сейсмографа показали наличие сейсмической активности. Исходя из последних расчетов учёных, лунное ядро состоит главным образом из раскалённого железа. Из-за отсутствия воды колебания лунной поверхности продолжительны по времени, могут длиться более часа.

Лунотрясения можно разделить на четыре группы:

•приливные, случаются дважды в месяц, вызваны воздействием приливных сил Солнца и Земли;

•тектонические — нерегулярные, вызваны подвижками в грунте Луны;

•метеоритные — из-за падения метеоритов;

•термальные — их причиной служит резкий нагрев лунной поверхности с восходом Солнца.

Наибольшую опасность для возможных обитаемых станций представляют тектонические лунотрясения. Сейсмографами НАСА за 5 лет исследований было зарегистрировано 28 подобных лунотрясений. Некоторые из них достигают 5,5 баллов по шкале Рихтера и длятся более 10 минут. Для сравнения на Земле подобные землетрясения длятся не более двух минут

**Вода на Луне**

Впервые сведения об обнаружении воды на Луне были опубликованы в 1978 году советскими исследователями в журнале

«Геохимия». Факт был установлен в результате анализа образцов, доставленных зондом «Луна-24» в 1976 году. Процент найденной в образце воды составил 0,1.

В июле 2008 года группа американских геологов из Института Карнеги и Университета Брауна обнаружила в образцах грунта Луны следы воды, в большом количестве выделявшейся из недр спутника на ранних этапах его существования. Позднее бо́льшая часть этой воды испарилась в космос.

Российские учёные, с помощью созданного ими прибора LEND, установленного на зонде LRO, выявили участки Луны, наиболее богатые водородом. На основании этих данных НАСА выбрало место для проведения бомбардировки Луны зондом LCROSS. После проведения эксперимента, 13 ноября 2009 года НАСА сообщило об обнаружении в кратере Кабеус в районе южного полюса воды в виде льда.

Согласно данным, переданным радаром Mini-SAR, установленном на индийском лунном аппарате Чандраян-1, всего в регионе северного полюса обнаружено не менее 600 млн. тонн воды, большая часть которой находится в виде ледяных глыб, покоящихся на дне лунных кратеров. Всего вода была обнаружена в более чем 40 кратерах, диаметр которых варьирует от 2 до

15 км. Сейчас у учёных уже нет никаких сомнений в том, что найденный лёд — это именно водный лёд.

**Происхождение кратеров**

Попытки объяснить происхождение кратеров на Луне начались с конца 1780-х годов. Основных гипотез было две —

вулканическая и метеоритная.

Согласно постулатам вулканической теории, выдвинутой в 80-х годах XVIII века немецким астрономом Иоганном Шрётером, лунные кратеры были образованы вследствие мощных извержений на поверхности. Но в 1824 году также немецкий астроном Франц фон Груйтуйзен сформулировал метеоритнуютеорию, согласно которой при столкновении небесного тела с Луной происходит продавливание поверхности спутника и образование кратера.

До 20-х годов XX века против метеоритной гипотезы выдвигали тот факт, что кратеры имеют круглую форму, хотя косых ударов по поверхности должно быть больше чем прямых, а значит при метеоритном происхождении кратеры должны иметь форму эллипса. Однако в 1924 году новозеландский учёныйДжиффорд впервые дал качественное описание удара о поверхность планеты метеорита, двигающегося с космической скоростью. Получалось, что при таком ударе большая часть метеорита испаряется вместе с породой на месте удара, и форма кратера не зависит от угла падения. Также в пользу метеоритной гипотезы говорит то, что совпадает зависимость количества лунных кратеров от их диаметра и зависимость количества метеорных тел от их размера. Чуть позже, в 1937 году, данную теорию привёл к обобщённому научному виду советский студент Кирилл Петрович Станюкович, впоследствии ставший доктором наук и профессором. Данная «взрывная теория»

разрабатывалась им самим и группой учёных с 1947 по 1960 года, а дорабатывалась в дальнейшем и другими исследователями.

Полёты к спутнику Земли с 1964 года, совершенные американскими аппаратами «Рейнджер», а также открытие кратеров на других планетах Солнечной системы (Марс, Меркурий, Венера) подвели итог этому вековому спору о происхождении кратеров на Луне. Дело в том, что открытые вулканические кратеры (например, на Венере) сильно отличаются от лунных, схожих с кратерами на Меркурии, которые, в свою очередь были образованы ударами небесных тел. Поэтому метеоритная теория ныне считается общепринятой.

Благодаря столкновению Луны с астероидом мы можем наблюдать с Земли метеоритные кратеры на Луне. Учёные из Парижского института физики Земли полагают, что 3,9 миллиарда лет назад столкновение Луны с крупным астероидом заставило Луну повернуться

**Атмосфера Луны**

**Атмосфера Луны** — крайне разреженная газовая оболочка Луны, в десять триллионов раз менее плотная (давление на поверхности примерно 10 нПа) по сравнению с земной атмосферой, состоящая в основном из водорода, гелия, неона и аргона. Практически не воздействует на Луну и не благоприятствует жизни людей на спутнике.

Источниками атмосферы являются как внутренние процессы (выделение газов из коры Луны и вулканизм), так и внешние — падения микрометеоритов, солнечный ветер. Луна не удерживает на себе все выделяющиеся газы, поскольку имеет слабую гравитацию; большая часть газов, поднимающихся с её поверхности, рассеивается в космосе.

Концентрация частиц у поверхности Луны значительно меняется в зависимости от времени лунных суток: ночью на 1 см³ приходится 105 частиц, а днём 104. Для Земли этот показатель составляет 2,7·1019.

В рамках проекта Аполлон были проведены исследования атмосферы Луны, в результате которых было обнаружено присутствие в ней атомов аргона игелия; последующие наблюдения с Земли показали наличие ионов натрия и калия.

В 1991 исследователями из Бостонского университета был обнаружен натриевый «хвост», простирающийся до 15—20 радиусов

Луны в сторону, противоположную Солнцу.

Для непосредственного изучения лунной атмосферы в сентябре 2013 года был запущен зонд LADEE.

**TeMnepaT)'pa**

**MMH. cpeA. M8KC.**

**ireMneparypa 1**00 K 220 K 390 K

(-173°C) (-53°C) (117 •q

(3KBaTOp) 130 K 230 K

33 K (-143 ·q (-43 ·c)

(-240 •q

XMMM eCKMM COCT8B nyHHOrO perOnMT8 B npOHT8X(3 1J.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 3neMeHTbl o | ,[IOCT8BneH uJlyHOM·20>• 0 | AocTaaneH uJlyHOM-16» 0 |
| Si | 20,0 | 20,0 |
| Ti | 0,28 | 1,9 |
| AI | 12,5 | 6,7 |
| Cr | 0,11 | 0,20 |
| Fe | 5,1 | 13,7 |
| Mg | 5,7 | 5,3 |
| Ca | 10,3 | 9,2 |
| Na | 0,26 | 0,32 |
| K | 0,05 | 0,12 |