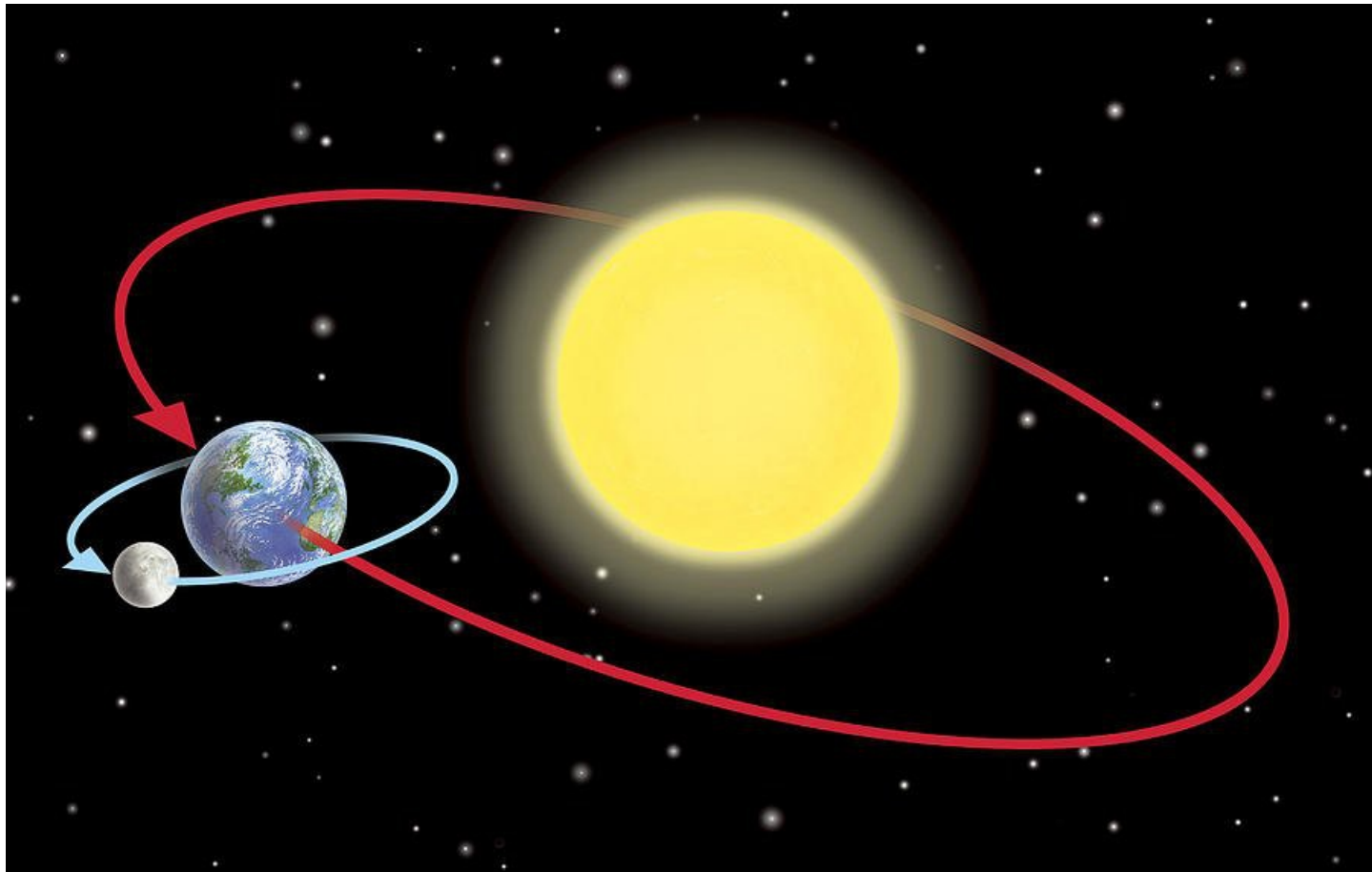


7. Земля и ее спутник Луна

7.1. Основные движения Земли

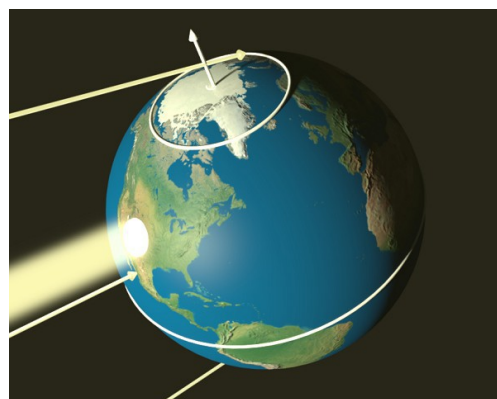
Земля – третья по удаленности от Солнца и наибольшая планета из земной группы.

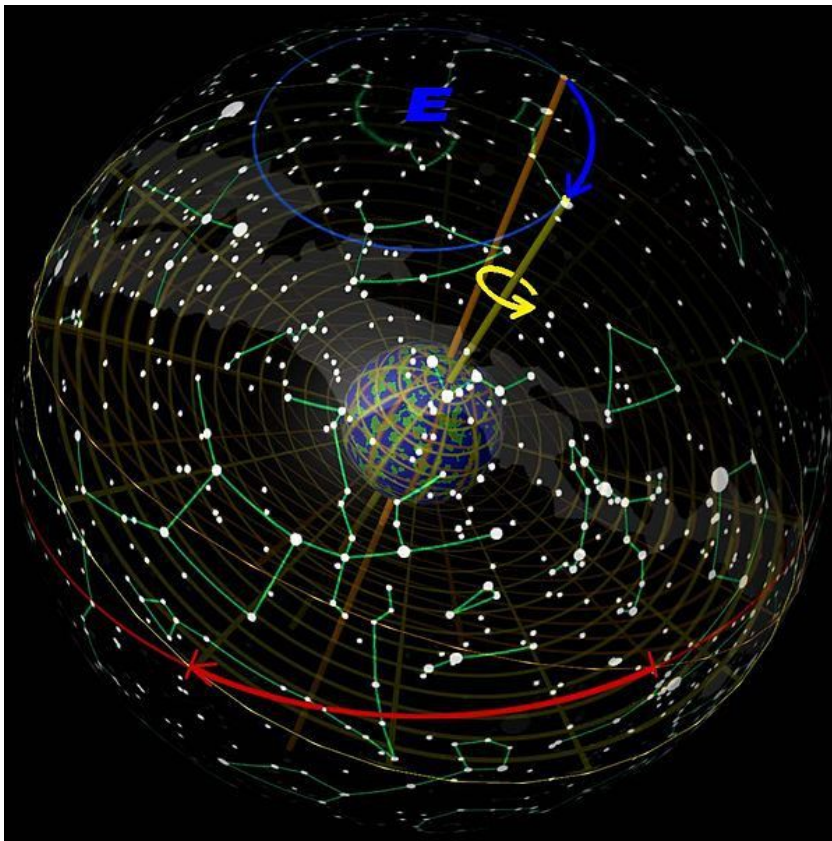
Земля совершает в пространстве множество сложных движений, некоторые из них заметны для наблюдателей, другие, наоборот, почти неощутимы. Главной силой, определяющей все эти движения, служит гравитация – притяжение Земли другими космическими телами.



Первое основное движение – движение Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите (см. рис.). Когда она проходит через перигелий – ближайшую к Солнцу точку своей орбиты, от Солнца ее отделяет почти 147 млн. км. Через полгода она оказывается в наиболее удалённой точке – афелий, и расстояние от Земли до Солнца становится близким к 152 млн. км. При этом скорость движения Земли все время меняется. Вблизи Солнца она увеличивается, с удалением от него – уменьшается. В среднем же Земля летит по своей орбите в 36 раз быстрее пули – 30 километров в секунду. Но эта скорость кажется огромной лишь по земным меркам.

Второе основное движение Земли – вращение вокруг оси, наклоненной к плоскости орбиты под углом $66,5^\circ$ (см. рис.).

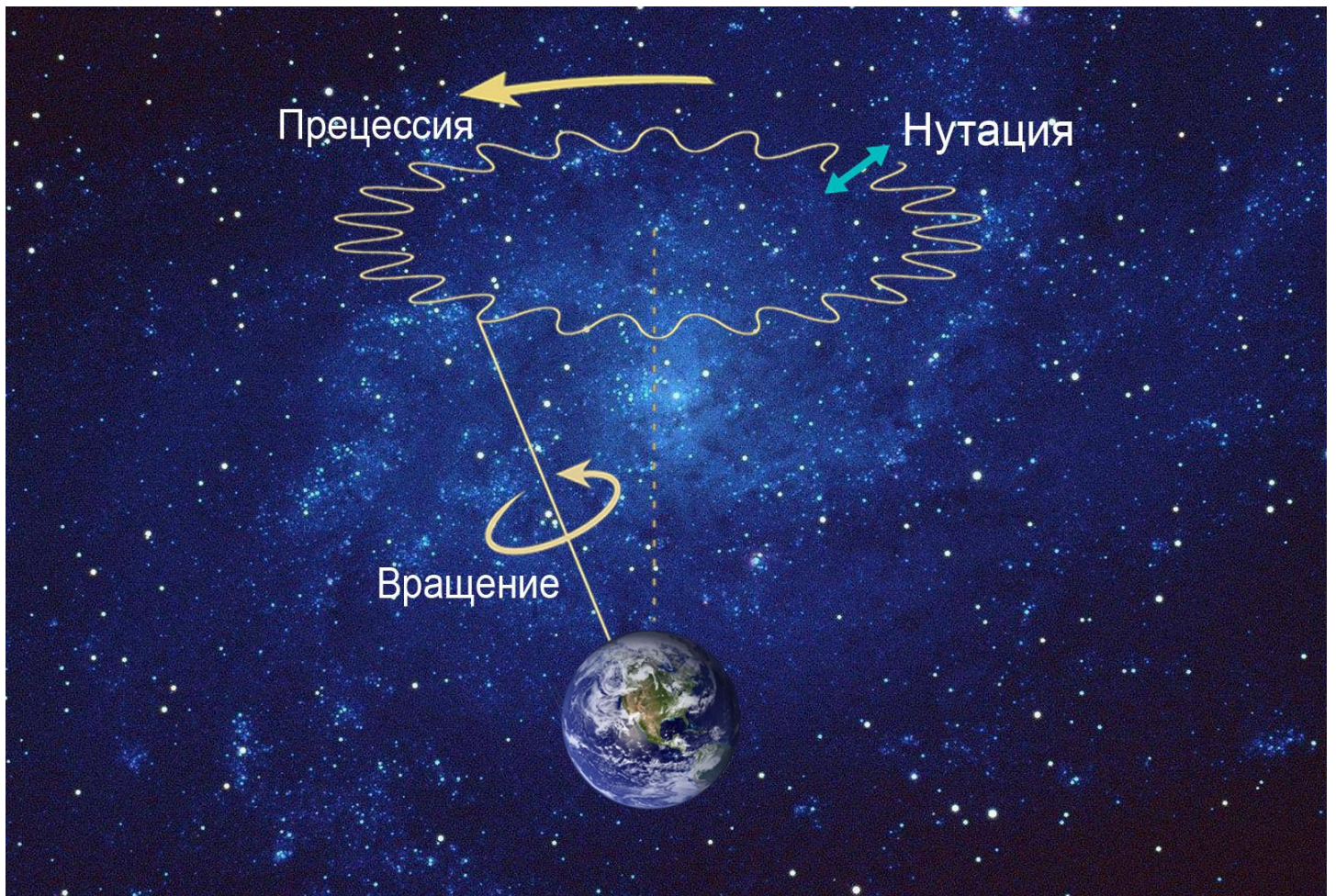




Земной шар часто сравнивают с волчком. Такое сравнение имеет более глубокий смысл. Если раскрутить волчок, а потом слегка толкнуть его ось – она начнет описывать конус, причем со скоростью, значительно меньшей скорости вращения волчка. Это движение называется прецессией. Оно свойственно и земному шару, являясь его третьим движением (см. рис.). Период прецессии 26 тыс. лет. Прецессия приводит к смещению полюсов мира. В ближайшие сотни лет северный полюс мира будет находиться недалеко от Полярной звезды, затем начнет удаляться от нее, и название последней звезды в ручке ковша Малой Медведицы – Полярная – утратит свой смысл. Через 12 тыс. лет полюс мира приблизится к самой яркой звезде северного неба – Веге из созвездия Лиры.

Луна вызывает еще и четвертое движение Земли. Из-за воздействия Луны на различные точки земного эллипсоида земная ось

описывает маленький конус с периодом в 18,6 года. Благодаря этому движению, называемому нутацией (см. рис.), небесный полюс вычерчивает на фоне звездного неба крошечный эллипс.



Всего Земля совершает более 13 движений.

7.2. Размеры и форма Земли

Метод триангуляции впервые применен в 1615 г, при измерении дуги меридиана в Голландии. С тех пор и до настоящего времени в разных странах, на разных широтах было измерено много дуг на поверхности Земли и не только по меридианам, но и по параллелям. Все эти измерения показали, что длина 1^{го} меридиана не одинакова под разными широтами; около экватора она равна 110,6 км, а около полюсов 111,7 км, т. е. увеличивается к полюсам. Это означает, что кривизна земной поверхности меньше в полярных областях, чем экваториальных. Следовательно, Земля отличается от шара и имеет несколько сплюснутую форму, близкую к эллипсоиду вращения.

На протяжении последних полутора столетий неоднократно определялись элементы земного эллипсоида, размеры и форма которого наилучшим образом согласовывались с наиболее точными измерениями дуг. Согласно этим данным малая полуось земного эллипсоида, совпадающая с осью вращения Земли, равна $b = 6356,86$ км, а большая полуось, лежащая в плоскости экватора, $a = 6378,24$ км. Отношение $\epsilon = (a - b) / a$, называемое сжатием, равно $1 / 298,3$. Данные, основанные на наблюдениях движения искусственных спутников Земли, позволили уточнить результаты наземных геодезических измерений сжатия Земли.

Поскольку различие в экваториальном (6378,24 км) и полярном (6356,86 км) радиусах Земли небольшое (21,38 км), то при решении многих астрономических задач Землю можно считать шаром со средним радиусом, равным 6371 км.

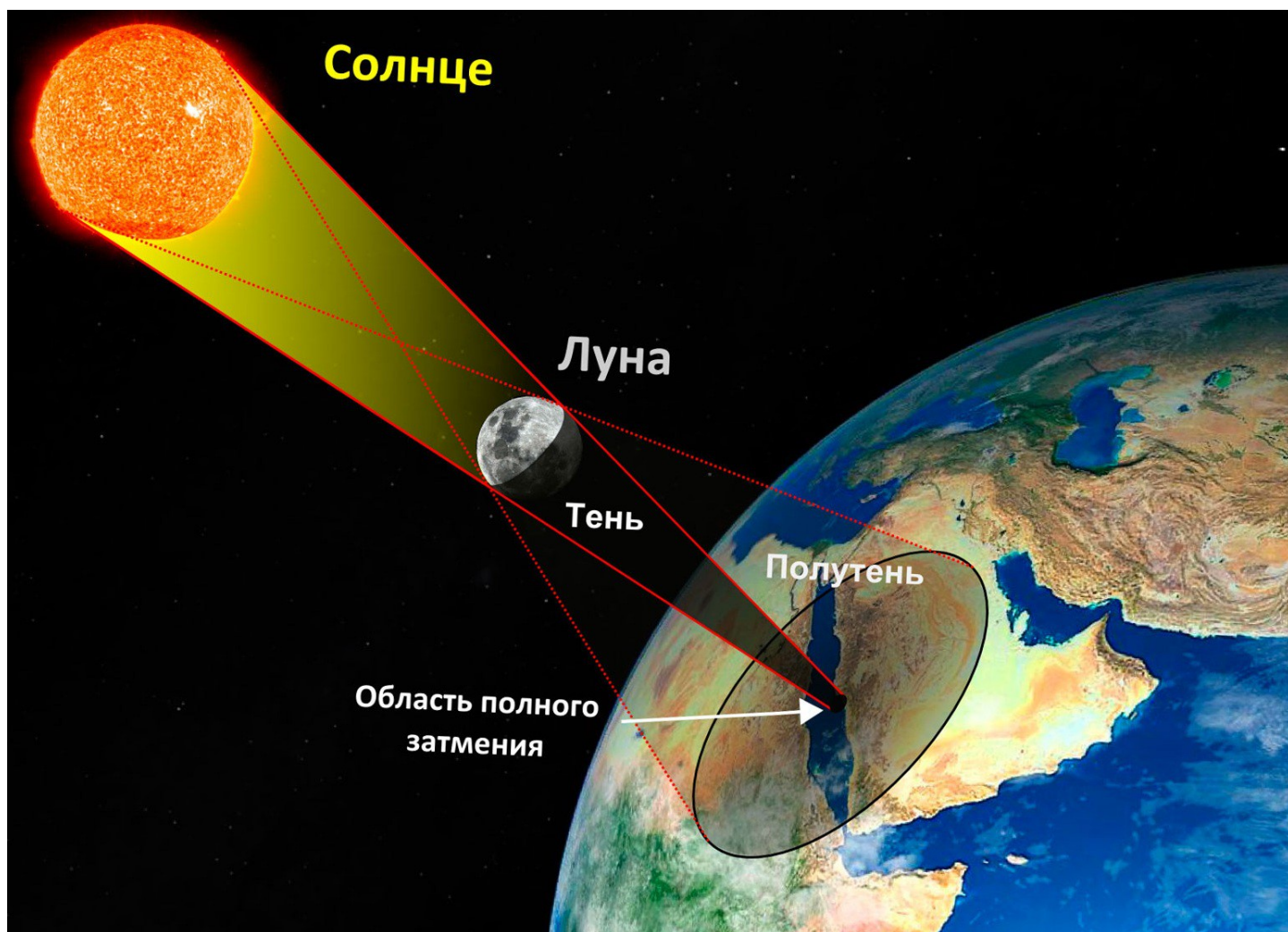
Зная средний радиус Земли и ее массу, легко вычислить среднюю плотность нашей планеты ($5,5 \cdot 10^3$ кг/м³).

7.3. Солнечные и лунные затмения

Когда Луна при своем движении вокруг Земли полностью или частично заслоняет Солнце, происходят солнечные затмения (см. рис.).



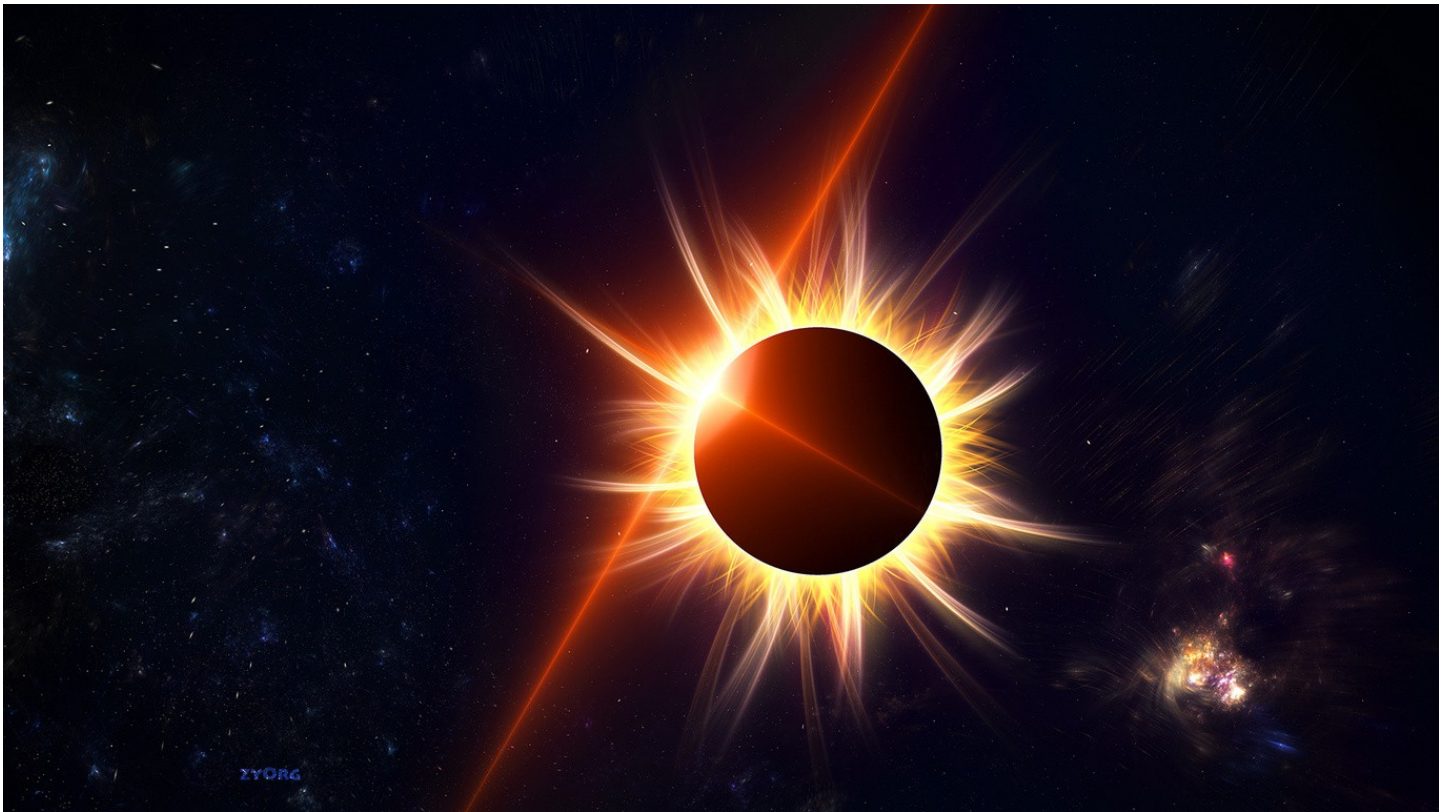
Во время полного солнечного затмения Луна закрывает весь диск Солнца (это возможно благодаря тому, что видимые диаметры Луны и Солнца почти одинаковы). Полное солнечное затмение можно наблюдать лишь из тех точек земной поверхности, где проходит полоса полной фазы. Так называется полоса, которую как бы прочерчивает по земной поверхности сходящийся конус лунной тени (см. рис.).



По обе стороны полосы полной фазы происходит частное затмение Солнца, во время которого Луна заслоняет не весь солнечный диск, а лишь часть его. Наблюдается частное солнечное затмение из тех мест земной поверхности, которые охватывает расходящийся конус лунной полутени (см. рис. выше).

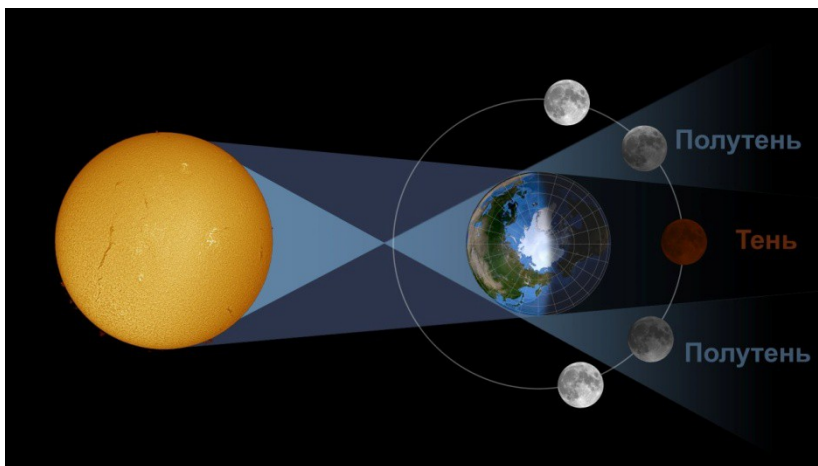
Ширина полосы полной фазы солнечного затмения и его продолжительность зависят от взаимных расстояний Солнца, Земли и Луны. Вследствие изменения расстояний видимый угловой диаметр Луны тоже изменяется. Когда он чуть больше солнечного, полное затмение Солнца может длиться до 7,5 мин, когда равен, то одно мгновение, если же он меньше, то Луна вообще не закрывает Солнце полностью. В последнем случае происходит кольцеобразное затмение: вокруг темного лунного диска видно узкое яркое солнечное кольцо.

Полное солнечное затмение – очень красивое явление. Во время затмения Солнце имеет вид черного диска, окруженного нежным сиянием (короной) (см. рис.). Дневной свет настолько ослабевает, что иногда можно видеть на небе яркие звезды и планеты.



Когда при движении вокруг Земли Луна попадает в конус земной тени, которую отбрасывает освещаемый Солнцем земной шар, происходит полное лунное затмение (см. рис.). Если же в тень Земли погружается лишь часть Луны, то происходит частное затмение Луны.

Полное лунное затмение может длиться примерно 1,5 – 2 ч (столько времени, сколько требуется Луне, чтобы пересечь конус земной тени). Его можно наблюдать со всего ночного полушария Земли, где Луна в момент затмения находится над горизонтом. Поэтому в данной местности полные лунные затмения удастся наблюдать значительно чаще солнечных.



Во время полного лунного затмения Луны лунный диск остается видимым, но он приобретает обычно темно-красный оттенок (см. рис.). Это явление объясняется преломлением солнечных лучей в земной атмосфере. Проходя через земную атмосферу, солнечные лучи рассеиваются и преломляются. Причем рассеивается в основном коротковолновое излучение (соответствующее синему и голубому участкам спектра, чем и обусловлен голубой цвет нашего дневного неба), а преломляется длинноволновое (соответствующее красному участку спектра). Преломляясь в земной атмосфере, длинноволновое солнечное излучение попадает в конус земной тени и освещает Луну.



Легко сообразить, что солнечное затмение происходит, когда Луна бывает в новолунии, а лунное – когда в полнолунии. Однако далеко не в каждое новолуние и полнолуние происходят затмения. Дело в том, что плоскость, в которой Луна движется вокруг Земли, наклонена к плоскости эклиптики под углом примерно 5° . Чаще всего в году бывает только два солнечных и два лунных затмения. В 1982 г. было семь затмений – четыре частных солнечных и три полных лунных (это максимально возможное число затмений в год).

Еще древние астрономы заметили, что через определенный промежуток времени лунные и солнечные затмения повторяются в определенном порядке. Этот промежуток времени был назван саросом (в переводе с египетского – повторение). Существование сароса объясняется закономерностями, наблюдаемыми в движении Луны. Сарос составляет 6585,32 сут (≈ 18 лет 11 дней). В течение каждого сароса происходит 70 затмений, из них 42 солнечных и 28 лунных. Однако в данном месте Земли лунные затмения наблюдаются чаще, чем солнечные, так как лунные затмения видны со всего ночного полушария Земли. Полные солнечные затмения в данной точке земной поверхности видны не чаще одного раза в 200–300 лет.

Зная продолжительность сароса, можно приближенно предсказывать время наступления затмений. В настоящее время разработаны очень точные методы предсказания солнечных и лунных затмений. Астрономы неоднократно помогали историкам уточнять даты исторических событий, которые, по свидетельству летописей, совпадали с затмениями. В Анадыре очередное полное солнечное затмение будет наблюдаться 30 марта 2033 г. Наблюдения затмений позволяют ученым получать важные сведения об атмосферах Земли и Солнца, а также о движении Луны. Во время полных затмений Солнца создаются условия, благоприятные для наблюдения отклонения луча света звезды в поле тяготения Солнца. Это позволяет получить одно из важнейших доказательств теории тяготения Эйнштейна (общей теории относительности).

7.4. Луна – спутник Земли

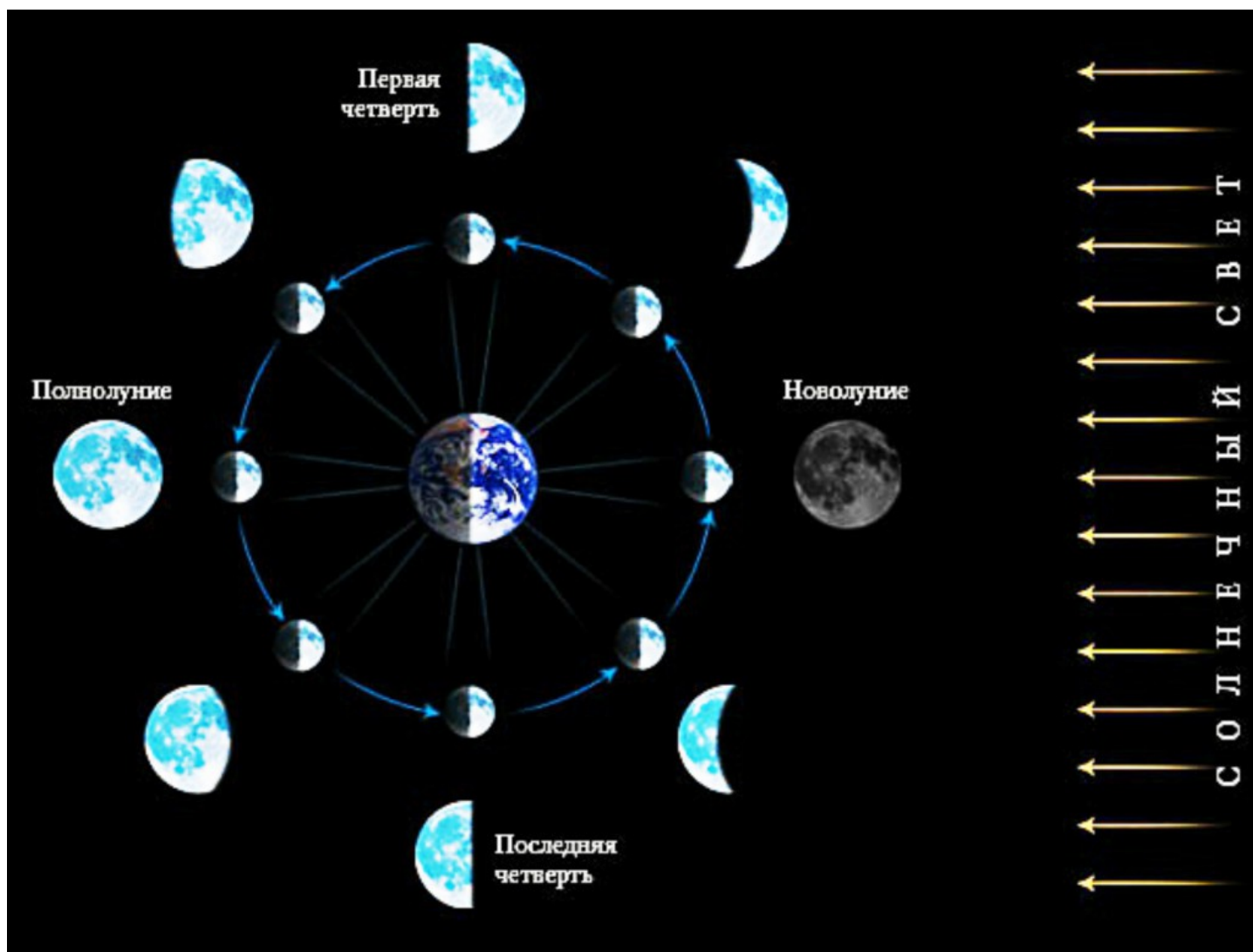
Луна – ближайшее к Земле небесное тело. Радиус Луны примерно в 4 раза, а масса в 81 раз меньше соответственно радиуса и массы Земли (см. рис).



По этим физическим характеристикам естественный спутник нашей планеты нельзя считать маленьким по сравнению с Землей. Строго говоря, по эллиптической орбите вокруг Солнца движется общий центр масс системы «Земля – Луна», находящийся внутри Земли. Систему «Земля – Луна» часто называют «двойной планетой».

Луна – не самосветящееся тело; она светит отраженным солнечным светом. В зависимости от положения, которое Луна занимает по отношению к Земле и Солнцу, мы видим то полную Луну (полнолуние), то половину видимого диска (первая или последняя четверть), то совсем не видим Луны (новолуние).

Наблюдаемая с Земли освещенная часть лунного диска называется фазой Луны (см. рис.). В новолунии Луна бывает в то время, когда она располагается между Землей и Солнцем; в полнолунии Луна находится за Землей. После новолуния Луна «растет» от узкого серпа (направленного выпуклостью вправо) до полудиска (первая четверть) и далее до полного диска (полнолуние). После полнолуния Луна «убывает» до полудиска (выпуклость направлена влево, наступает последняя четверть), затем становится узким серпом и перестает быть видимой в новолунии. Полный цикл смен лунных фаз (синодический месяц) составляет примерно 29,5 сут.



Угловой диаметр Луны на небесной сфере около $0,5^\circ$ ($30'$). Но он не остается постоянным, а изменяется из-за эллиптичности орбиты (примерно $33'$ в перигее и $29'$ в апогее). Эксцентриситет лунной орбиты $e = 0,05$, а большая полуось эллипса – 384400 км (среднее расстояние Луны от Земли).

Полный оборот вокруг Земли Луна совершает за $27,3$ сут. (сидерический месяц). За это же время Луна делает оборот вокруг своей оси, поэтому к Земле всегда обращено одно и то же полушарие Луны.

- **Физические условия на Луне**

Луна практически лишена атмосферы. Если допустить, что в прошлом у Луны была атмосфера, то легко понять, почему ее нет сейчас. Дело в том, что сравнительно небольшие (по массе) небесные тела (подобные Луне) не могут длительное время удерживать атмосферу. Уже при скорости $2,38$ км/с (вторая космическая скорость для Луны) молекулы газа способны покинуть Луну.

Нет на Луне и воды. Испарение воды образовало бы вокруг Луны газовую оболочку, которая быстро бы рассеялась.

На небе Луны видны те же самые созвездия, что и на небе Земли. Из-за отсутствия атмосферы яркие звезды и планеты видны на Луне и днем. Поэтому космонавты могут ориентироваться на Луне по звездам и днем и ночью. Ориентировка по звездам приобретает на Луне особое значение, так как там магнитный компас бесполезен. (Луна не имеет магнитного поля, подобного земному.)

Меркурий и Венеру можно наблюдать с Луны даже в непосредственной близости от Солнца. Эффектное украшение неба Луны – наша Земля (см. рис.). Диск Земли примерно в $3,5$ раза больше солнечного диска.



На протяжении лунного дня, длящегося около двух земных недель, поверхность Луны сильно нагревается, а затем охлаждается в ночное время (ночь на Луне тоже длится почти две земные недели). Отсутствие атмосферы на Луне приводит к резким колебаниям температуры в течение лунных суток. В районе «подсолнечной» точки, т. е. там, где Солнце днем находится в зените, температура превышает 400 К (+130 °С). На противоположной стороне Луны вблизи «антисолнечной» точки поверхность Луны охлаждается почти до 100 К (-170 °С), т. е. на протяжении одних лунных суток (29,5 земных суток) температура изменяется на 300 К. Резкие колебания температуры, происходящие на Луне, относятся только к ее поверхности. Уже на глубине в несколько десятков сантиметров температура в течение лунных суток практически не изменяется. Это объясняется плохой теплопроводностью лунного грунта, который не успевает ни прогреться днем, ни охладиться ночью.

Луна сейчас обращена к Земле одной стороной. Так было не всегда. Миллиарды лет назад Луна была ближе к Земле, чем сейчас, а периоды вращения Земли и обращения вокруг нее Луны составляли лишь несколько часов. На нынешнем этапе эволюции системы «Земля – Луна» период вращения Луны совпал с периодом ее обращения. Это привело к двум важным следствиям. Во-первых, продолжительность солнечных суток на Луне равна синодическому месяцу (день и ночь на Луне длятся почти по две земные недели). Во-вторых, к Земле Луна всегда обращена одним полушарием (мы с Земли видим всегда одну и ту же сторону Луны).

- **Поверхность Луны**

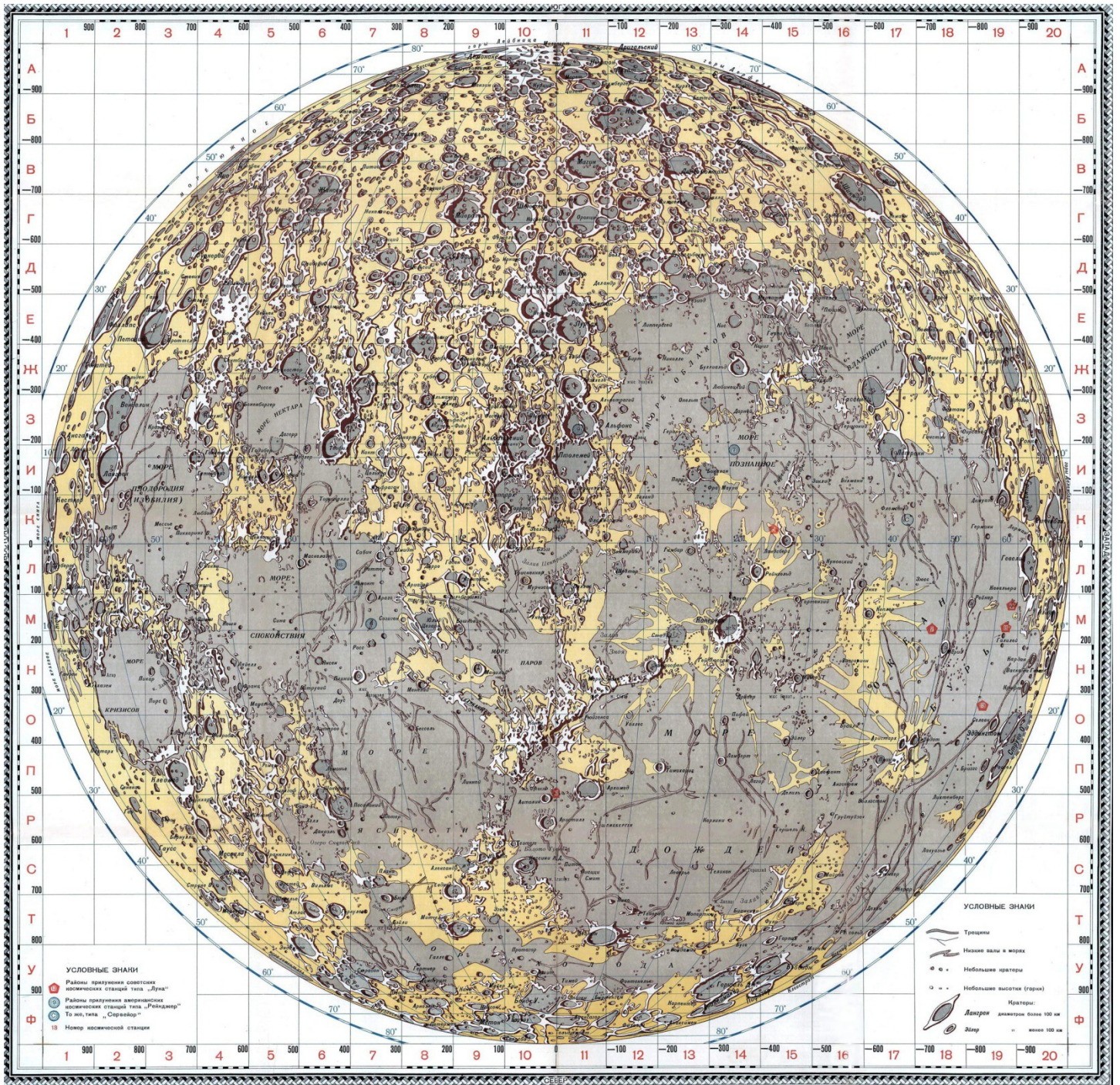
На поверхности Луны обширные темные участки (моря) чередуются со светлыми участками (материками) (см. рис.). Несмотря на то что в лунных морях нет ни капли воды, в науке сохранилась прежняя система наименований, предложенная еще в XVII в. В отличие от морей (сравнительно ровных участков лунной поверхности, покрытых темным веществом), материка представляют собой гористые районы.



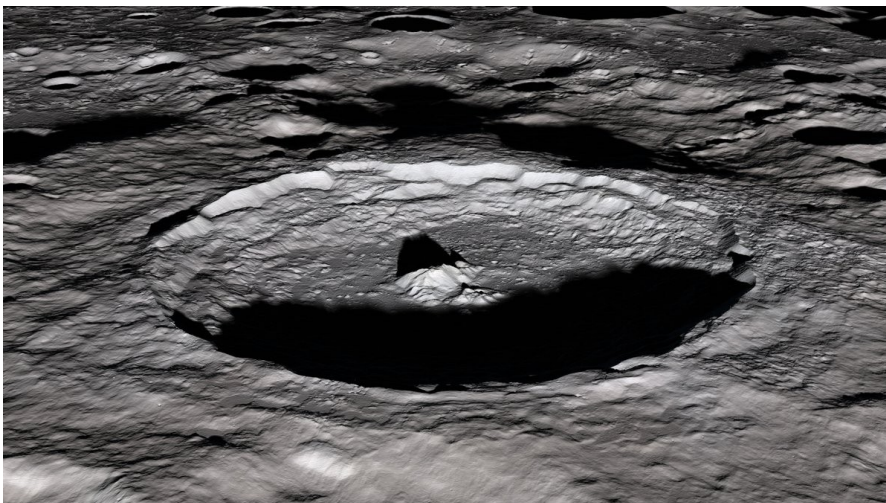
На обращенной к Земле стороне Луны материки занимают около 70%, а моря – 30% территории видимого с Земли полушария Луны (см. рис.).

Характерная особенность лунного рельефа – кольцевые структуры (кратеры). Только на видимой стороне кратеров диаметром более 1 км примерно 300 000. Среди них есть такие, диаметры которых превышают 200 км. Большинство крупных лунных кратеров имеют ровное дно, в центре которого возвышается горка.

Многие лунные моря окаймлены протяженными горными хребтами. Хребты получили названия земных горных цепей (Кавказ, Альпы, Пиренеи и др.).



В полнолуние в небольшой телескоп хорошо видны Океан Бурь, Море Дождей, Море Ясности, а также кратеры (Тихо (см. рис.), Коперник, Кеплер), от которых расходятся протяженные лучевые системы.

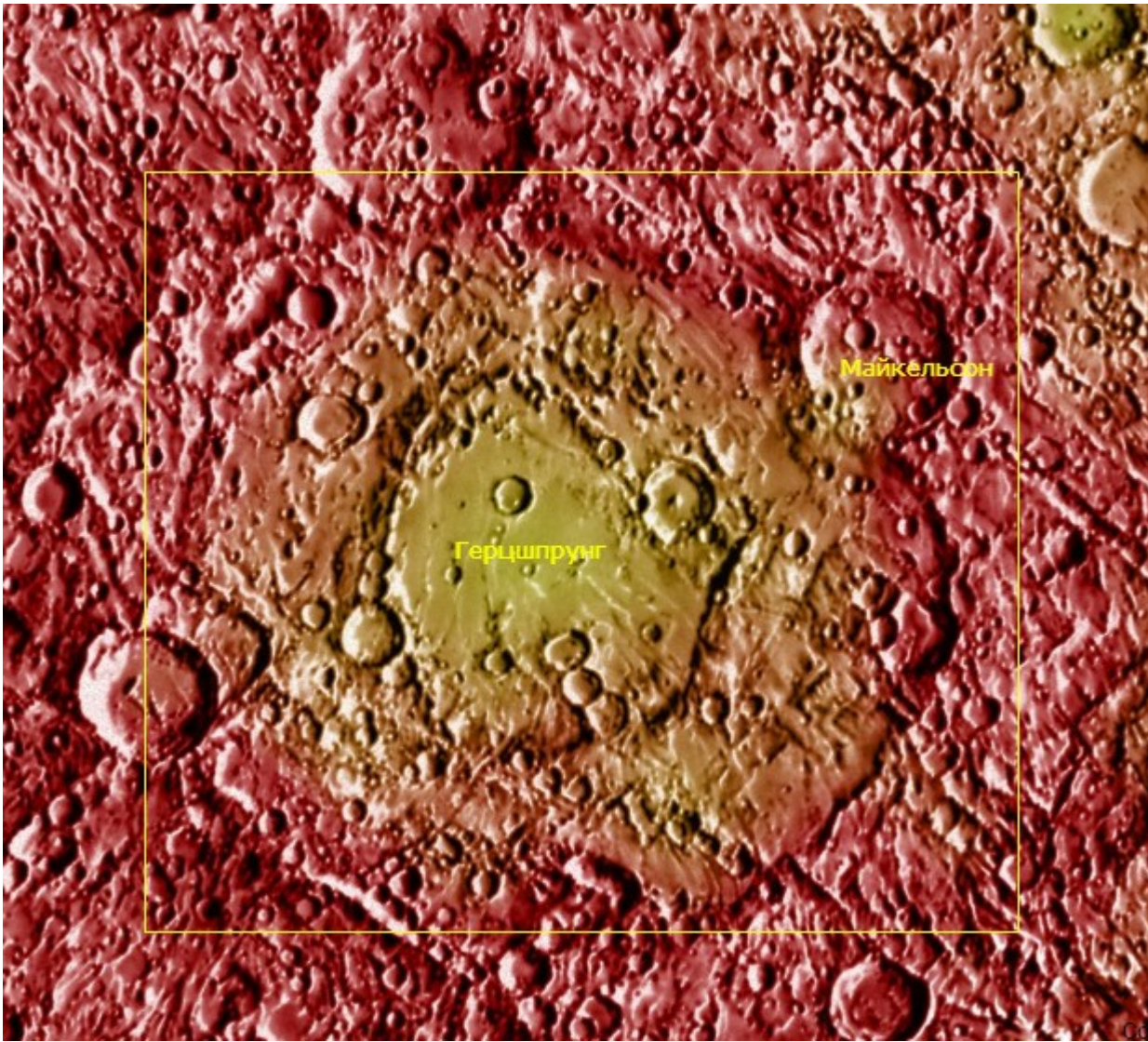


В отличие от продолжающихся несколько столетий телескопических исследований видимой стороны Луны, исследование обратной ее стороны началось, когда впервые в истории науки обратная сторона Луны была сфотографирована автоматической станцией «Луна-3» 7 октября 1959 г. Примерно через 6 лет (июль 1965 г.) другая наша автоматическая межпланетная станция (АМС) «Зонд-3», выведенная на гелиоцентрическую орбиту, передала новые фотографии. Полученные снимки позволили составить карты и атласы обратной стороны Луны, лунные глобусы и полные карты, охватывающие почти всю поверхность Луны.



На невидимом с Земли полушарии Луны преобладают материки. Средний диаметр крупного моря – Моря Москвы (см. рис.) – достигает 460 км. Обнаружены мореподобные круглые или овальные образования, занимающие промежуточное место между лунными морями и крупнейшими кратерами. Много на обратной стороне Луны и кратеров (крупным присвоены имена выдающихся деятелей науки – Ломоносов, Джордано Бруно, Циолковский, Жюль Кюри и др.). Самым крупным является кратер Герцшпрунг диаметром 570 км, карта высот которого (красное – возвышенности, зелёное – низменности) показана на рисунке. Нередко кратеры образуют длинные цепочки, тянущиеся на сотни километров.

Большинство мелких и средних лунных кратеров образовалось в результате падения метеоритов, которые, достигая поверхности Луны, обладают такой кинетической энергией, что при ударе происходит взрыв. Метеорит разрушается, дробится; лунный грунт разлетается в разные стороны от места взрыва. Так образуются первичные кратеры. Чем их больше на данном участке лунной поверхности, тем больше возраст этого участка. Выброшенные при образовании первичных кратеров большие камни могут, падая на поверхность Луны, создавать вторичные кратеры. Возможно, что из таких вторичных кратеров состоят лучевые системы, которые хорошо видны в полнолуние у некоторых крупных молодых кратеров. Образование крупных кратеров, вероятно, связано и с бурной вулканической деятельностью, характерной для далекого прошлого Луны.



- **Лунные породы**



Благодаря мягким посадкам автоматических станций на Луну, а затем и полетам на Луну американских астронавтов стали известны механические свойства лунного грунта и его химический состав. На Луне не оказалось толстого слоя пыли, которого когда-то опасались многие конструкторы лунников, но пыль на Луне есть. Она темно-серого цвета и по внешнему виду напоминает цемент (см. рис. выше).

Образцы лунных пород внешне похожи на земные изверженные базальты. В состав их входят хорошо известные на Земле химические элементы (Si, Al, Fe, Ca, Mg и др.). Но в лунных породах больше, чем в земных, содержится тугоплавких элементов (Ti, Zr, Sr и др.) и меньше – легкоплавких (Pb, K, Na и др.). Химический состав различных участков поверхности Луны неодинаков.



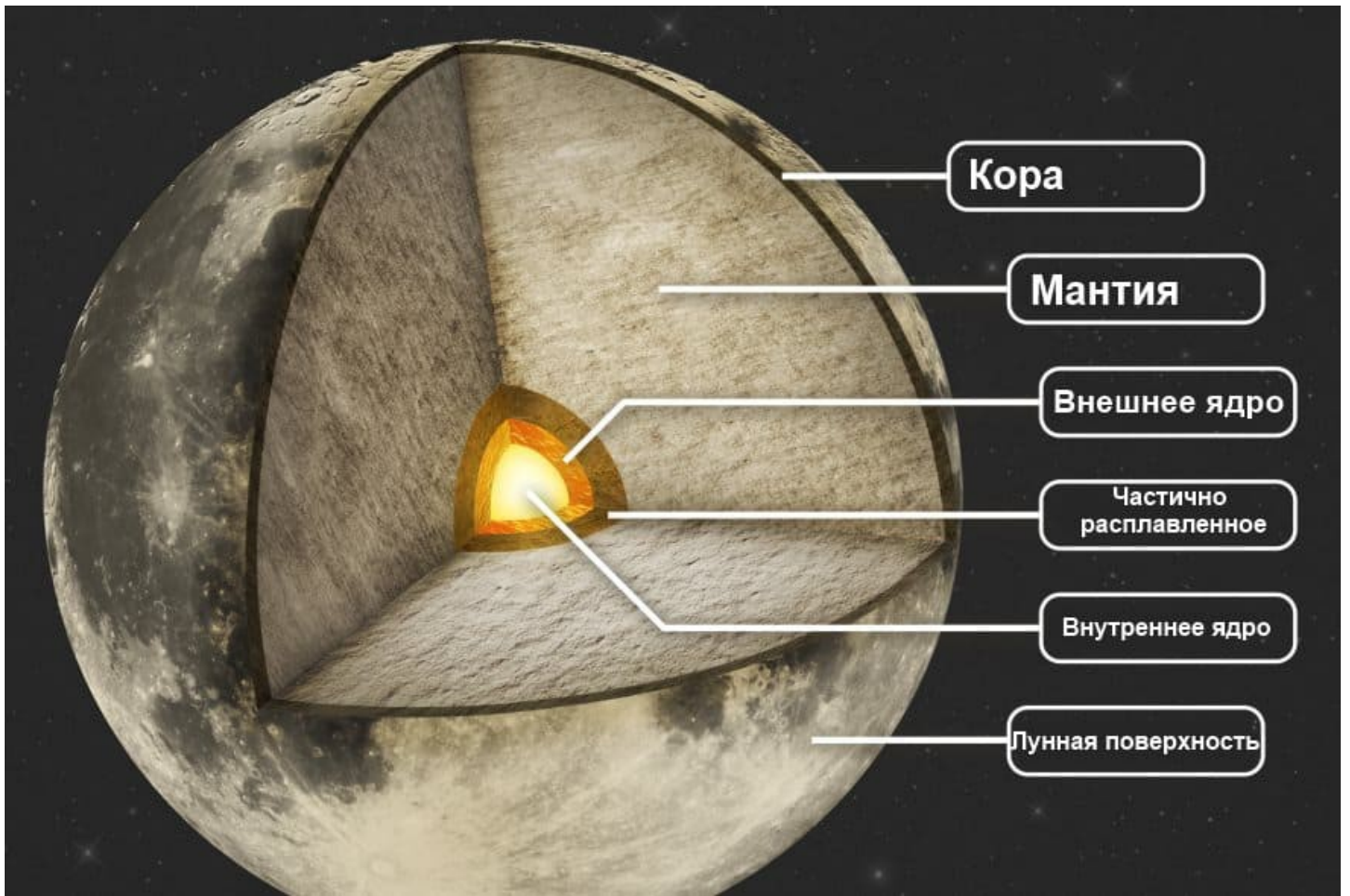
В поверхностном слое Луны (реголите) содержатся осколки магматических пород, шлакообразные частицы с оплавленными гранями. Многие образцы как бы обработаны песком. Их вид свидетельствует о том, что они длительное время подвергались своеобразной эрозии (ударам мелких метеоритов и обработке потоками частиц, непрерывно исходящими от Солнца).

Из-за отсутствия воды минералов на Луне значительно меньше, чем на Земле. Микроорганизмов на Луне не обнаружено.

Лунные породы относятся к очень древним – их возраст составляет примерно 4 млрд. лет, причем самыми «молодыми» (несколько более 3 млрд. лет) оказались образцы, доставленные из морских районов.

На Луне давно завершилась эпоха активного вулканизма. С течением времени уменьшалась и интенсивность метеоритной бомбардировки лунной поверхности. Благодаря этому на протяжении последних 2–3 млрд. лет вид Луны практически не изменялся. А на Земле под воздействием воды и воздуха древний рельеф не мог сохраниться. Сравнение лунного и современного земного рельефа помогает воссоздать условия, в которых на Земле формировались запасы полезных ископаемых. Это необходимо знать для разработки научных основ поиска полезных ископаемых.

Еще и сейчас происходят лунотрясения (напоминающие слабые землетрясения). Они зарегистрированы сейсмографами, установленными на Луне астронавтами. Данные этих приборов позволили исследовать внутреннее строение Луны, выделив кору (толщиной около 60 км), мантию (до 1000 км) и ядро (его радиус около 750 км).



Вопросы

1. Какая сила определяет движения Земли в пространстве?
2. Какое движение Земли является основным?
3. Каковы минимальное и максимальное расстояния от Земли до Солнца?
4. Как меняется скорость движения Земли по орбите вокруг Солнца?
5. Чему равна средняя скорость движения Земли по орбите?
6. Какое движение Земли является второстепенным во важности?
7. Каков наклон земной оси к плоскости орбиты?
8. Какое движение называется прецессией?
9. Чему равен период прецессии земной оси?
10. Что такое «нута́ция» и каков её период?
11. Какова реальная форма Земли?
12. Каково различие между экваториальным и полярным радиусом (в километрах)?
13. Чему равен средний радиус Земли?
14. Благодаря чему возможны полные солнечные затмения?
15. Что такое «полоса полной фазы» солнечного затмения?

15. Где и почему наблюдается частичное солнечное затмение?
16. Когда и почему наблюдается полное лунное затмение?
17. Почему во время полного лунного затмения лунный диск приобретает красноватый оттенок?
18. Что такое «сарос»?
19. Каково соотношение радиуса и массы Луны по сравнению с Землёй?
20. Что называют «фазой Луны»?
21. Что такое 29,5 суток применительно к движению Луны вокруг Земли?
22. Каково среднее расстояние от Земли до Луны?
23. Почему на Луне нет ни атмосферы, ни жидкой воды?
24. Каковы колебания температуры на поверхности Луны в течение «лунных» суток?
25. Почему мы видим с Земли всегда одну и ту же сторону Луны?
26. Насколько реальны названия: Океан Бурь, Море Дождей, Море Ясности на поверхности Луны?
27. Каковы особенности кольцевых структур на поверхности Луны?
28. Когда впервые была сфотографирована обратная сторона Луны?
29. Какова основная причина образования лунных кратеров?
30. Каков возраст лунных пород?
31. Каково внутреннее строение Луны?