

# ЗЕМЛЯ И ЛУНА: приливы

Масса Земли	$6 \cdot 10^{24}$ кг, то есть 6 тысяч миллиардов миллиардов тонн
Радиус Земли	6400 км
Расстояние от Земли до Солнца	1 а.е. = 150 млн км
Спутник	Луна
Радиус Луны	1740 км $\approx$ 1/4 радиуса Земли
Расстояние от Луны до Земли	384 000 км

Постойте, у нас же экскурсия! Зачем же домой заходить? Во-первых, чтобы лишний раз убедиться, что везде хорошо, а дома лучше. Во-вторых, чтобы взглянуть на этот наш дом «со стороны», как просто на одну из планет. Ну и, наконец, чтобы обсудить кое-что, что второпях на других планетах понять не успеваешь.

Итак, что бросается в глаза, если смотреть на Землю издалека? Пожалуй, главное – большой, сравнимый с планетой спутник. Такой есть только у нас: большие (больше Луны) спутники есть у Юпитера и Сатурна, но они и сами огромны.

Луна всегда повернута к Земле одной и той же стороной. Это то самое лицо, которое смотрит на нас каждое полнолуние. Обратную сторону мы увидели только в 1959 году, когда Луну впервые облетел космический аппарат.



Рис.1. Фото ближней к нам и дальней (обратной) сторон Луны

**Задача 1.** Луна делает полный оборот вокруг Земли за 27 дней. Сколько делятся на Луне солнечные сутки (то есть время, скажем, от полудня до следующего полудня)? Одинакова ли их длительность на «той» и «этой» сторонах Луны?

Мы ещё не раз встретим «преданность» спутников, всегда смотрящих на свою планету одной стороной. Неужели это случайность? Вряд ли. Давайте поймём,

## ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ

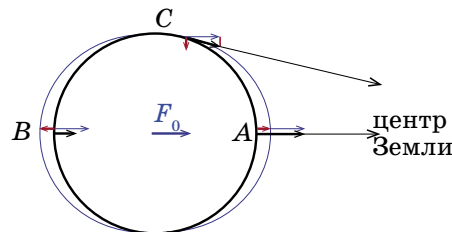
Валерия Сирота





почему так получается, а заодно разберёмся в замечательном «космическом» явлении – земных приливах.

Земля притягивает Луну, из-за этого Луна не улетает прочь, а вращается вокруг неё. Но Земля притягивает разные части Луны по-разному: те куски Луны, которые ближе, она тянет сильнее, а те, которые дальше – слабее. Представим себе круглую Абсолютно Твёрдую Луну, на поверхности которой лежат одинаковые маленькие камешки. Все кусочки Абсолютно Твёрдой Луны движутся одинаково – так же, как её центр, то есть как если бы их тянула «средняя» сила<sup>1</sup>



$F_0$ . Камушек в точке  $A$ , ближайшей к Земле, движется вместе с Луной, но сила, которая действует на него, чуть больше – так что остаётся «лишняя» сила, которая направлена вверх и старается оторвать камушек от Луны (рис. 2). Если он будет лежать на весах, то весы покажут меньший вес, чем если бы Земли не было.

Рис. 2. Настоящие силы, действующие на камушки на Луне (чёрные стрелки), и «добавочные» к «средней» силе  $F_0$  – приливные силы (красные). Синий эллипсоид – поверхность «лунного океана».

Камушек в точке  $A$ , ближайшей к Земле, движется вместе с Луной, но сила, которая действует на него, чуть больше – так что остаётся «лишняя» сила, которая направлена вверх и старается оторвать камушек от Луны (рис. 2). Если он будет лежать на весах, то весы покажут меньший вес, чем если бы Земли не было.

А что же в противоположной точке  $B$ ? Сила, с которой Земля притягивает камушек, меньше, чем  $F_0$ . Но камушек вынужден вместе с Луной двигаться так, как будто бы на него действует эта «средняя» сила  $F_0$ . Получается, что «лишняя» сила, которую надо добавить к  $F_0$ , чтобы получить настоящую, направлена от Земли! То есть опять она стремится оторвать камушек от Луны, и опять она уменьшает его вес.

Что же, так везде на Луне? Нет. В тех местах, в которых Земля на горизонте, как в точке  $C$ , всё наоборот: «лишняя» сила там направлена вглубь Луны! Это потому, что «средняя» сила  $F_0$  направлена вбок и чуть-чуть вверх (с точки зрения лунного наблюдателя), а настоящая сила притяжения Земли – только вбок. «Лишней» силе приходится «поправлять среднюю» и давить вниз<sup>2</sup>. Так что такой же камушек в этом месте Луны покажется тяжелее, чем в  $A$  или  $B$ .

<sup>1</sup>Будем считать, что все камушки весят по 1 кг.

Представим теперь, что мы налили на нашу Абсолютно Твёрдую Луну тонкий слой воды – ну, километр или два... Что произойдёт? Вода будет, конечно, двигаться вместе с Луной как одно целое, но в областях вокруг *A* и *B* «лишняя» сила будет оттягивать воду от планеты, а в «поясе» точек посередине между ними (как *C*) – прижимать её ко дну. Вода подвижная, она перераспределится так, что в точках *A* и *B* её станет больше (океан станет глубже), а в точках *C* – меньше. Поверхность воды, в отличие от поверхности идеального шара Абсолютно Твёрдой Луны, будет похожа на дыню<sup>3</sup>. Конечно, отклонение от поверхности шара – совсем маленькое, порядка 10 метров при радиусе почти 2000 км. Но сами по себе 10 м – не так уж и мало...

Но на Луне ведь нет воды?.. Да, но зато она есть на Земле! Земля притягивает Луну. Но и Луна притягивает Землю. И всё, что мы говорили про Луну, верно и про Землю. Поскольку поверхность Земли на 2/3 покрыта океаном, то по направлениям к Луне и от неё у Земли «отрастает горб» из воды – прилив. А в местах, где Луна на горизонте, толщина воды чуть-чуть уменьшается – отлив. Правда, из-за того, что Луна гораздо легче Земли, она притягивает земной океан слабее, и высота прилива получается меньше – если бы не перегораживающие океан континенты, она была бы всего полметра.

Но Земля вертится вокруг своей оси – и на линии Земля-Луна, в «вершинах горба», оказываются всё новые точки. Горб – приливная волна – бежит по поверхности планеты. За сутки она успевает пробежать почти полный оборот (почти – потому что Луна тоже не стоит на месте, а вращается вокруг Земли). При этом каждая точка Земли по очереди оказывается вблизи одной из вершин горба, области *C*, другой вершины горба и опять области *C* с другой стороны; так что прилив, как и отлив, почти везде бывает 2 раза в сутки.

**Задача 2.** Сегодня полнолуние, и мы – на острове посреди океана. Когда сегодня будет самый высокий прилив? А когда – отлив?

<sup>2</sup>На самом деле строго вниз «лишняя» сила направлена в тех точках лунной поверхности, расстояние от которых до Земли такое же, как до её центра. Но, поскольку до Земли далеко, это практически то же самое.

<sup>3</sup>Научное название – *эллипсоид вращения*. А синий овал на рисунке 2 – пересечение этой поверхности с плоскостью рисунка – это *эллипс*.





Интересно, что эти два прилива не обязательно одинаковой высоты – прилив тем выше, чем выше над горизонтом поднялась Луна или, наоборот, чем ниже она опустилась под горизонт. А эти две величины не обязательно равны друг другу (рис. 3), если, конечно, вы живёте не на экваторе.

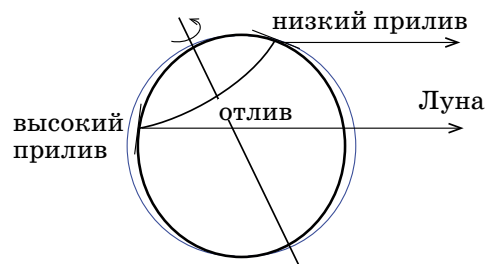


Рис. 3. Для жителя средних широт максимальная высота Луны над горизонтом и максимальная «глубина» её под горизонтом в течение суток часто не совпадают.

**Задача 3.** Предположим, что вода покрыла Землю целиком («Всемирный потоп»). В каком месте Земли всё равно никогда не будет ни приливов, ни отливов? Почему?

Не случайно в каждой задаче оговаривается, что мы посреди океана. Форма береговой линии (мысы, бухты) может очень сильно менять высоту и даже время прилива, а в закрытых морях вроде Средиземного, которые соединяются с океаном узким проливом, приливы вообще устроены по-другому (хотя причина их та же).<sup>4</sup>

**Задача 4.** В какой день на маленьком островке на экваторе в середине Тихого океана выше прилив: в новолуние 21 марта или в новолуние 22 декабря?

И ещё – приливы бывают и в открытом океане, но, чтобы их заметить, обязательно нужна суша – хоть островок, чтобы уровню воды было относительно чего повышаться. Плывая на корабле, вы не заметите, что оказались на «горбе» прилива. Вот так, оттого, что не с чем сравнивать, мы не замечаем и того, что на суше на самом деле тоже есть приливы и отливы – колебания самой земной коры, только они гораздо слабее.

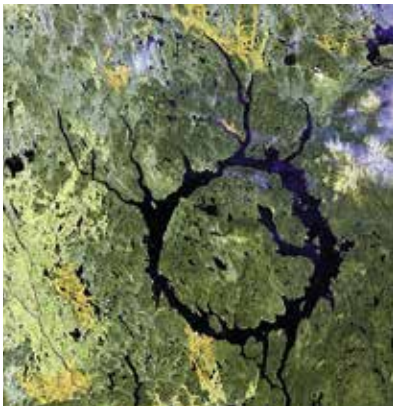
Но вернёмся на Луну. Раньше она вращалась вокруг оси гораздо быстрее. «Приливный горб», созданный Землёй, бежал по её поверхности – ну, или это

<sup>4</sup> Если уж говорить честно, то приливы создаются не только Луной, но и Солнцем – созданные им «горбы» всего в 2 раза меньше лунных. К тому же континенты, создающие преграды движению воды, влияют на высоту приливов даже далеко в океане. Из-за этого вычислить высоту прилива в каждом конкретном месте очень трудно; но поскольку положения Луны и Солнца периодически повторяются, для важных мест (например, портов) составляют таблицы времени и высоты приливов на каждый день.

поверхность «прокручивалась» под горбом. Лунная кора то поднималась, то опускалась, нагревалась от этого, и энергия вращения Луны постепенно переходила в тепло. Трение верхних слоёв о нижние пыталось «утянуть» горбы с линии Луна-Земля, заставить их вращаться вместе с Луной – а приливные силы (точнее, момент сил) не пускали, и этим тормозили Луну. (Попробовал бы человек на гончарном круге держать руки так, чтобы заготовка была не совсем круглой в сечении, а все время чуть-чуть вытянутой к нему. Это было бы очень тяжело!) И затормозили совсем: горб перестал «бежать» и застыл, вершина его теперь всегда в одном и том же месте. Земля, кстати, тоже раньше вращалась быстрее – например, ещё 100 млн лет назад (во времена динозавров) звёздные сутки длились не 24, а 23 часа.

И, пока мы не улетели от Земли, скажу пару слов о метеоритных кратерах. А то некоторые думают, что их у нас нет. Конечно – спасибо атмосфере – не так много, как на Луне, но хватает: «официально зарегистрировано» около 200 штук. Просто на большие кратеры, чтобы их увидеть, надо смотреть как минимум с самолёта, а лучше из космоса – и то можно не заметить...

При падении очень большого метеорита поднимается столько пыли, что воздух становится почти непрозрачным для солнечных лучей, и они перестают попадать на поверхность. На всей Земле на несколько лет – пока пыль не осядет – становится холоднее. По одной из гипотез, именно от этого вымерли динозавры. Хорошо, что такие события происходят очень редко!



Кратер Маникуаган в Канаде, диаметр 100 км, возраст 200 млн лет



Кратер Каали в Эстонии, диаметр около 100 м, возраст 4000 лет. Виден земляной вал высотой 16 м

