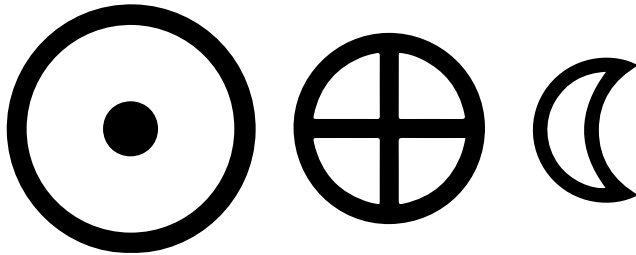


М.Б. Сергеев

Система Солнце-Земля-Луна: ЧИСЛЕННЫЕ ПАРАДОКСЫ



*...для начала можно прочитать только две главы –
первую, в которой дана постановка проблемы,
и последнего, в которой подводятся весьма
неожиданные итоги проведённого исследования.*

1

СИНЭЛ
Санкт-Петербург
2023

УДК 523

ББК 22.65

С32

Сергеев, Михаил Борисович.

Система Солнце-Земля-Луна: численные парадоксы / М. Б. Сергеев. – Санкт-Петербург : СИНЭЛ, 2023. – 144 с.

ISBN 978-5-6050500-9-4.

Текст (визуальный) : непосредственный.

В книге обсуждаются пять наиболее интересных численных совпадений, связанных с параметрами системы Солнце-Земля-Луна, самым широко известным из которых является совпадение кажущихся размеров Солнца и Луны на земном небе. Рассмотренные совпадения обычно считаются простой случайностью и находятся вне поля зрения серьёзной науки, хотя в научно-популярной литературе и в интернете о них пишется довольно часто. На основе современных астрономических данных в книге выполнен максимально тщательный и независимый анализ этих совпадений. Для каждого из них показана точность выполнения в настоящую эпоху, а также характер изменения точности с течением геологического времени. Кроме того, рассмотрен вопрос о возможных аналогах этих совпадений в других системах Солнце-планета-спутник.

ISBN 978-5-6050500-9-4

© Михаил Борисович Сергеев

*Посвящается светлой памяти
моей прабабушки Анны Тимофеевны Хломенок
и моего прадеда Дениса Николаевича Хломенка
– людей огромной жизненной стойкости.*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге, которую вы держите в руках, рассматривается проблема численных совпадений параметров системы Солнце-Земля-Луна. Самым известным из этих совпадений является равенство видимых размеров лунного и солнечного дисков на земном небе, на что обращали внимание ещё в глубокой древности. Различных совпадений, связанных с параметрами системы Солнце-Земля-Луна, на самом деле, известно довольно много, и в этой работе выполнен тщательный анализ пяти наиболее важных и наиболее интересных совпадений, которые названы здесь базовыми.

Эту книгу можно читать по-разному. Можно читать её традиционным образом, глава за главой, тщательно разбирая все приводимые арифметические выкладки, но для начала можно прочитать только две главы – первую, в которой дана постановка проблемы, и последнюю, в которой подводятся весьма неожиданные итоги проведённого исследования. И лишь после этого, желая удостовериться в справедливости полученных результатов, перейти к чтению всех остальных глав.

Книга написана в научно-популярном стиле, чтобы быть доступной как можно более широкому кругу читателей. Помимо двенадцати основных глав в неё включены двадцать четыре дополнения, в которых рассматриваются отдельные специфические вспомогательные вопросы, с которыми читатель может ознакомиться, если захочет углубиться в проблему. Используемые в расчетах параметры главных планет Солнечной системы и их наиболее важных спутников взяты с официального сайта НАСА (дата обращения – 7 мая 2020 года) и приведены в многочисленных таблицах.

Автор выражает огромную благодарность своей семье за внимательное чтение ранних версий этой книги и конструктивные замечания, способствовавшие улучшению качества текста.

Автор приветствует любое некоммерческое копирование и распространение этой книги. Отзывы на книгу можно направлять по электронной почте: chisla@internet.ru

*Михаил Борисович Сергеев,
Заслуженный геолог Российской Федерации*

Санкт-Петербург, сентябрь 2022 года.

Глава I

ПЯТЬ УДИВИТЕЛЬНЫХ СОВПАДЕНИЙ

(постановка проблемы)

Самым известным совпадением, связанным с системой Солнце-Земля-Луна, является равенство видимых размеров солнечного и лунного дисков на земном небе. Солнце и Луна кажутся нам одинаковыми по размерам, потому что расстояние до Солнца во столько же раз больше, чем расстояние до Луны, во сколько раз диаметр Солнца больше, чем диаметр Луны (Рис. 1).

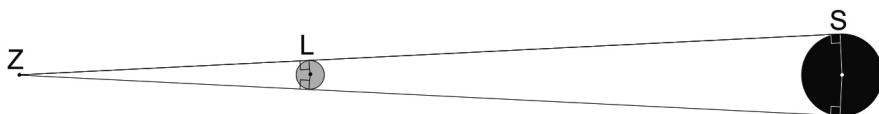


Рис. 1. Схема, поясняющая равенство кажущихся размеров Луны и Солнца на земном небе (первое базовое совпадение)

Z – точка, в которой находится земной наблюдатель; L – Луна; S – Солнце.

Масштабы не соблюдены.

При наблюдении невооружённым глазом и Луна, и Солнце на земном небе воспринимаются как диски. В действительности оба этих объекта имеют форму шара, поэтому наблюдатель, находящийся в точке Z, видит те части их поверхностей, которые ограничены касательными, сходящимися в этой точке.

Это хорошо понимали ещё в древности, хотя представления о соотношении размеров Солнца и Луны, а также о соотношении расстояний до этих тел, были тогда совершенно другими, чем сейчас. Так, согласно измерениям, выполненным во II веке до н.э. древнегреческим астрономом Гиппархом, Солнце должно было быть в 20 раз дальше и больше, чем Луна, тогда как по современным данным это различие составляет примерно 400 раз.

Кажущееся равенство лунного и солнечного дисков обеспечивает нам возможность время от времени наблюдать удивительную по своей красоте картину полных солнечных затмений, когда диск Луны в точности закрывает диск Солнца. В этот момент небо резко темнеет, становятся хорошо видны звёзды, а вокруг чёрного лунного диска вспыхивает солнечная корона. Конечно же, корона есть всегда, но в другие моменты наблюдатель, находящийся на земной поверхности, не может её видеть из-за ослепительно яркого света самого Солнца.

Если бы Луна была поменьше или находилась от нас подальше, то полных солнечных затмений не было бы вообще. Диск Луны был бы всегда меньше диска Солнца, поэтому даже при самом точном прохождении диска Луны через центр диска Солнца, мы могли бы наблюдать лишь кольцеобразные затмения. Такие затмения иногда происходят в реальности, при этом в момент максимальной фазы кольцеобразного затмения чёрный диск Луны окружён со всех сторон ярким кольцом выступающего края солнечного диска.

Если же Луна была бы побольше или находилась поближе, то полные солнечные затмения происходили бы даже несколько чаще, чем сейчас, но протекали бы совершенно иначе. Во время максимальной фазы лунный диск закрывал бы не только диск Солнца, но и солнечную корону, по крайней мере частично, а иногда даже и полностью.

А вот для того, чтобы можно было увидеть именно такие полные солнечные затмения, какими мы их наблюдаем в действительности, видимые размеры лунного и солнечного дисков должны быть одинаковыми. Это возможно только в том случае, если расстояние до Солнца во столько же раз больше, чем расстояние до Луны, во сколько раз диаметр Солнца больше, чем диаметр Луны, что и имеет место в реальности.

Удивительное совпадение, не правда ли! Сформулируем его следующим образом: *отношение расстояния от Земли до Солнца к расстоянию от Земли до Луны равно отношению диаметра Солнца к диаметру Луны, в результате чего видимые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе одинаковы*

$$\frac{L_{зс}}{L_{зл}} = \frac{D_c}{D_l},$$

где: $L_{зс}$ – расстояние от Земли до Солнца;

$L_{зл}$ – расстояние от Земли до Луны;

D_c – диаметр Солнца;

D_l – диаметр Луны.

За последние четыре века, прошедшие после изобретения телескопа, были открыты многочисленные спутники и у других планет Солнечной системы. Но что удивительно, ситуация, подобная равенству видимых размеров Солнца и Луны на земном небе, не повторяется больше нигде.

Второе интересное совпадение заключается в том, что расстояние от Земли до Солнца во столько же раз больше диаметра Солнца, во сколько раз диаметр Солнца больше диаметра Земли (Рис. 2). Само по себе это действительно очень странно, ведь диаметр Солнца, диаметр Земли и расстояние от Земли до Солнца по своей физической сути не должны быть никак связаны друг с другом.

Заметим, что чаще всего, когда говорят об этом совпадении, то уточняют, что имеется в виду максимально возможное расстояние от Земли до Солнца, когда Земля находится в афелии – наиболее удалённой от Солнца точке своей орбиты. В этот момент расстояние от Земли до Солнца в 109 раз больше, чем диаметр Солнца. И именно в 109 раз диаметр Солнца больше, чем диаметр Земли.



Рис. 2. Схема, поясняющая равенство отношения расстояния до Солнца к диаметру Солнца и отношения диаметров Солнца и Земли (второе базовое совпадение)
Масштабы не соблюдены.

К вопросу о том, как меняется расстояние от Земли до Солнца в течение года, мы вернёмся позднее, а пока что отложим этот вопрос и примем обсуждаемое совпадение в следующей формулировке: **отношение расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца равно отношению диаметра Солнца к диаметру Земли**

$$\frac{L_{Зс}}{D_c} = \frac{D_c}{D_з},$$

где: $L_{Зс}$ – расстояние от Земли до Солнца;
 D_c – диаметр Солнца;
 $D_з$ – диаметр Земли.

Третье необычное совпадение, связанное с системой Солнце-Земля-Луна, состоит в том, что кажущийся (синодический) период вращения Солнца вокруг своей оси при наблюдении с Земли, движущейся по своей орбите вокруг Солнца, и реальный (сидерический) период обращения Луны вокруг Земли практически равны друг другу и составляют около 27,3 суток (Рис. 3).

Это совпадение тоже выглядит очень странным, ведь период обращения Луны по орбите вокруг Земли не должен быть каким-либо образом связан с вращением Солнца вокруг своей оси. Сформулируем это совпадение следующим образом: **кажущийся (синодический) период осевого вращения Солнца равен реальному периоду обращения Луны вокруг Земли (сидерическому месяцу)**

$$t_{\text{синод}} = T_l,$$

где: $t_{\text{синод}}$ – синодический период осевого вращения Солнца;
 T_l – период обращения Луны вокруг Земли (сидерический месяц).

Более подробно с вопросом о периоде обращения Луны вокруг Земли можно ознакомиться в Дополнении 1, а вопрос о периоде осевого вращения Солнца рассмотрен в Дополнении 2.

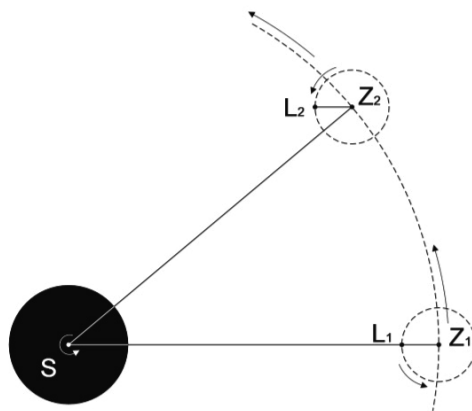


Рис. 3. Схема, поясняющая равенство синодического периода осевого вращения Солнца и сидерического месяца Луны (третье базовое совпадение)

- L_1 – Луна в первоначальном положении; Z_1 – Земля в первоначальном положении;
 L_2 – Луна через один сидерический месяц (27,3 суток), то есть после совершения одного полного оборота вокруг Земли; Z_2 – Земля через 27,3 суток;
 S – Солнце.
 Масштабы не соблюдены.

Солнце совершает один реальный оборот вокруг своей оси примерно за 25,4 суток. К тому моменту, когда Солнце совершит один полный осевой оборот, Земля существенно сместится по своей орбите. Для того, чтобы повернуться к сместившейся Земле той же самой стороной, что и в первоначальный момент, Солнцу потребуется ещё примерно 1,9 суток. Таким образом, Солнце будет снова смотреть на Землю той же самой стороной через 27,3 суток после первоначального момента.

Ещё два любопытных численных совпадения связаны с соотношением размеров Земли и Луны (Рис. 4).

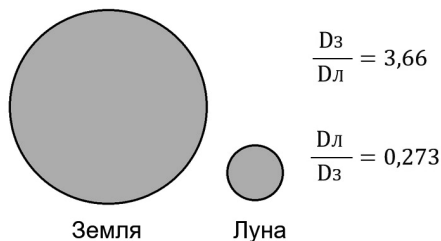


Рис. 4. Соотношение реальных размеров Земли и Луны

Так, отношение диаметра Земли к диаметру Луны (D_3/D_L) с точностью до трёх значащих цифр составляет 3,66. Если умножить это число на 100, то получим 366 – количество оборотов вокруг своей оси, совершаемое нашей планетой за то время, за которое она успевает сделать один оборот вокруг Солнца. Иными словами, **количество оборотов Земли вокруг своей оси (звёздных суток) в течение одного земного года (366) равно отношению диаметра Земли к диаметру Луны (3,66), умноженному на 100**

$$\frac{T_3}{t_{3зв}} = \frac{D_3}{D_L} \times 100,$$

где: T_3 – период обращения Земли вокруг Солнца;

$t_{3зв}$ – звёздные сутки Земли;

D_3 – диаметр Земли;

D_L – диаметр Луны.

Напомним, что солнечные сутки – это период смены дня и ночи, который длится 24 часа ровно, а звёздные сутки – это период вращения Земли вокруг своей оси, который длится 23 часа 56 минут 04,1 секунды. Так как звёздные сутки несколько короче, чем солнечные, то Земля в течение одного года успевает совершить именно 366 оборотов вокруг своей оси (звёздных суток), хотя в году только 365 дней (солнечных суток). Вопрос о соотношении звёздных и солнечных суток более подробно рассмотрен в Дополнении 3.

Обратное отношение, то есть, отношение диаметра Луны к диаметру Земли (D_L/D_3) с точностью до трёх значащих цифр составляет 0,273. Если теперь и это число умножить на 100, то получится 27,3 – количество солнечных суток Земли в течение одного лунного месяца, то есть в течение периода, за который Луна успевает совершить один оборот по своей орбите вокруг Земли. Сформулируем это совпадение: **количество солнечных суток Земли в течение одного лунного месяца (27,3) равно отношению диаметра Луны к диаметру Земли (0,273), умноженному на 100**

$$\frac{T_L}{t_{3сол}} = \frac{D_L}{D_3} \times 100,$$

где: T_L – период обращения Луны вокруг Земли (сидерический месяц);

$t_{3сол}$ – солнечные сутки Земли;

D_L – диаметр Луны;

D_3 – диаметр Земли.

Говоря о численных совпадениях параметров в системе Солнце-Земля-Луна нельзя не упомянуть об идеальном равенстве периода орбитального обращения Луны вокруг Земли и периода вращения Луны вокруг своей оси:

$$T_L = t_L,$$

где: T_L – период обращения Луны вокруг Земли (сидерический месяц);

t_L – период осевого вращения Луны.

В результате равенства двух этих периодов Луна всегда обращена к нашей планете одной и той же стороной (Рис. 5). Но, в отличие от рассмотренных ранее совпадений равенство периодов орбитального и осевого вращения Луны не является случайным – это закономерный результат эволюции системы Земля-Луна вследствие приливных взаимодействий между этими двумя телами. К вопросу о численных совпадениях, как таковых, это равенство, по существу, отношения не имеет.

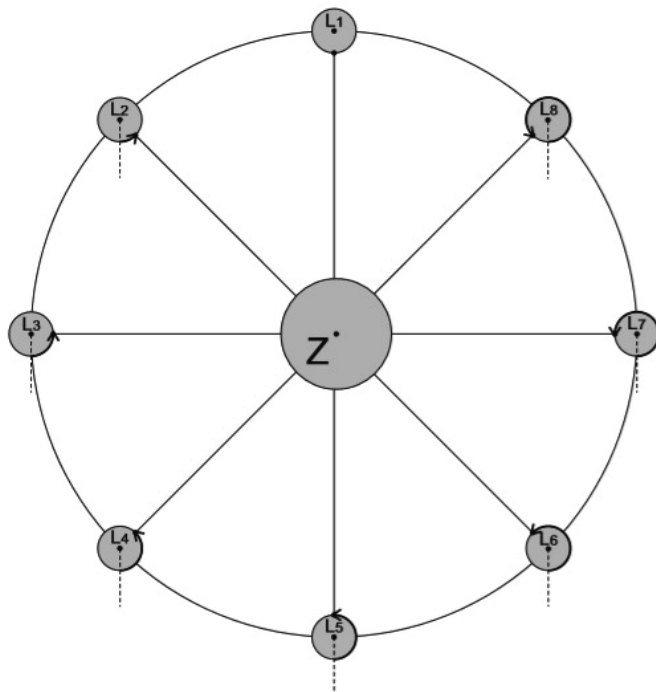


Рис. 5. Схема, поясняющая почему Луна всегда обращена к Земле одной и той же стороной

Z – Земля;

$L_2, L_3, L_4 \dots$ – Луна в последующих

L_1 – Луна в первоначальном положении;

положениях с интервалом в $\frac{1}{8}$ месяца.

Масштабы не соблюдены.

Орбита Луны условно принята круглой, а плоскость лунного экватора условно принята совпадающей с плоскостью лунной орбиты. В первоначальный момент времени Луна находится в точке L_1 , Жирной точкой обозначено то место на поверхности Луны, из которого в этот момент Земля видна в зените. Через $\frac{1}{8}$ месяца Луна пройдёт 45° по дуге своей орбиты и окажется в точке L_2 , при этом Луна повернётся на 45° также и вокруг своей оси, в результате чего Земля по-прежнему будет видна в зените из той же самой точки на лунной поверхности. То же самое будет происходить и далее в любой другой момент времени.

Синхронизированное осевое и орбитальное вращение характерно не только для Луны, но и для очень многих других спутников в Солнечной системе – такие спутники называют синхронизированными. Все они, как и наша Луна всегда смотрят на свои планеты одной и той же стороной. Причиной этого во всех случаях, разумеется, опять-таки служат приливные взаимодействия между планетами и их спутниками.

Более подробно вопрос о приливных взаимодействиях между планетами и их спутниками рассмотрен в Дополнении 4.

Разными авторами отмечались и некоторые другие численные совпадения параметров системы Солнце-Земля-Луна, но вышерассмотренные пять представляются наиболее важными и интересными. Здесь и далее в этой книге они будут называться *базовыми* совпадениями. Напомним их ещё раз:

1) Отношение расстояния от Земли до Солнца к расстоянию от Земли до Луны равно отношению диаметра Солнца к диаметру Луны, в результате чего видимые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе одинаковы;

2) Отношение расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца равно отношению диаметра Солнца к диаметру Земли;

3) Кажущийся (синодический) период осевого вращения Солнца равен реальному периоду обращения Луны вокруг Земли (сидерическому месяцу);

4) Количество оборотов Земли вокруг своей оси (звёздных суток) в течение одного земного года (366) равно отношению диаметра Земли к диаметру Луны (3,66), умноженному на 100;

5) Количество солнечных суток Земли в течение одного лунного месяца (27,3) равно отношению диаметра Луны к диаметру Земли (0,273), умноженному на 100.

Подчеркнём, что параметры или соотношения параметров, которые «участвуют» в каждом из пяти базовых совпадений, по своему физическому смыслу никак не связаны друг с другом. Заметим также, что все пять базовых совпадений представляются независимыми, в том смысле, что ни одно из них не является следствием какого-либо другого.

Кто и когда открыл каждое из рассмотренных пяти базовых совпадений, установить очень трудно, а, может быть, и невозможно. На эти совпадения неоднократно обращали внимание очень многие авторы. Что же касается самого первого из обсуждаемых совпадений (равенство видимых размеров лунного и солнечного дисков на земном небе), то оно, как уже говорилось, и вовсе было известно людям испокон веков.

Чаще всего эти пять совпадений рассматривались как удивительные случайности, своего рода «шутки Природы». Правда, несколько озадачивало,

почему Природа «пошутила» несколько раз именно в системе Солнце-Земля-Луна и не «шутила» так больше нигде в других частях Солнечной системы.

Каждое из этих совпадений по отдельности безусловно может быть случайным, но взятые все вместе, они, согласитесь, выглядят весьма странно, и у меня возникло желание изучить эту проблему более подробно. Прежде всего, я решил проверить на основе современных астрономических данных, с какой точностью выполняются пять вышеупомянутых численных совпадений в системе Солнце-Земля-Луна, и действительно ли аналоги этих совпадений отсутствуют в других частных системах Солнце-планета-спутник.

В завершение первой главы хотелось бы ещё раз привести слова, сказанные во введении: *«...можно для начала прочитать только две главы – первую, в которой дана постановка проблемы, и последнюю, в которой подводятся весьма неожиданные итоги проведённого исследования. И лишь после этого, желая удостовериться в справедливости полученных результатов, перейти к чтению всех остальных глав»*. Хотя, конечно же, можно читать эту книгу и *«традиционным образом, глава за главой, тщательно разбирая все приводимые арифметические выкладки»*.

Глава II

ДВА ДИСКА ПОЧТИ РАВНЫ

(первое базовое совпадение)

Первое базовое совпадение: *отношение расстояния от Земли до Солнца к расстоянию от Земли до Луны равно отношению диаметра Солнца к диаметру Луны, в результате чего видимые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе одинаковы.*

Для начала проверим первую часть вышеприведённой формулировки: «отношение расстояния от Земли до Солнца к расстоянию от Земли до Луны равно отношению диаметра Солнца к диаметру Луны...»

$$\frac{L_{Зс}}{L_{Зл}} = \frac{D_{с}}{D_{л}},$$

где: $L_{Зс}$ – расстояние от Земли до Солнца;

$L_{Зл}$ – расстояние от Земли до Луны;

$D_{с}$ – диаметр Солнца;

$D_{л}$ – диаметр Луны

В приведённой формулировке имеется некоторая неопределённость, ведь как земная, так и лунная орбиты имеют эллиптическую форму, поэтому и расстояние от Земли до Солнца в течение года, и расстояние от Земли до Луны в течение месяца непрерывно меняются в некоторых пределах. В целом, представляется более корректным, во всяком случае для начала, использовать при подобных сопоставлениях средние расстояния между космическими объектами.

Сопоставим между собой среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{Зс\text{сред}}$ и среднее расстояние от Земли до Луны $L_{Зл\text{сред}}$ (заметим, что под расстоянием между космическими телами в астрономии подразумевается расстояние между их центрами масс):

$$\frac{L_{Зс\text{сред}}}{L_{Зл\text{сред}}} = \frac{149\,598\,261 \text{ км}}{384\,400 \text{ км}} = 389,17.$$

В приведённой выше формулировке есть и ещё одна неопределённость. Шарообразные космические тела, такие как звёзды, планеты или крупные планетоподобные спутники на самом деле не являются идеальными шарами. Их форма гораздо лучше описывается эллипсоидами вращения (в той или иной степени сплюснутыми), а в некоторых случаях, даже трёхосными эллипсоидами. Сопоставляя размеры звёзд, планет и планетоподобных спутников, необходимо уточнять, по каким именно диаметрам проводится их сравнение. Вопрос о характерных диаметрах планетоподобных спутников подробно рассмотрен в Дополнении 5. Обычно сопоставляются либо средние, либо

экваториальные диаметры. Для всех дальнейших выкладок (за исключением особо оговорённых случаев) мы будем использовать именно средние диаметры космических тел.

Сопоставим теперь средний диаметр Солнца $D_{\text{Ссред}}$ и средний диаметр Луны $D_{\text{Лсред}}$:

$$\frac{D_{\text{Ссред}}}{D_{\text{Лсред}}} = \frac{1\,391\,400 \text{ км}}{3\,474,80 \text{ км}} = 400,43.$$

Как видим, совпадение двух полученных отношений далеко не идеально, а «отношение отношений» составляет:

$$\frac{L_{\text{ЗСсред}}}{L_{\text{ЗЛсред}}} : \frac{D_{\text{Ссред}}}{D_{\text{Лсред}}} = 389,17 : 400,43 \approx 0,972.$$

Ошибка совпадения двух сравниваемых величин составляет около 2,8%.

Говоря о размерах Солнца, следует отметить также, что за его поверхность принимают поверхность фотосферы – узкого слоя, из которого исходит видимое излучение нашего дневного светила. Никакой отчётливо выраженной поверхности в обычном смысле слова у Солнца нет. В сравнении с размерами Солнца толщина его фотосферы совсем невелика и по разным оценкам составляет от 100 до 500 км. Даже если взять максимальную из этих оценок (500 км), то толщина фотосферы будет почти в три тысячи раз меньше диаметра Солнца. Неудивительно, что край солнечного диска кажется резким, даже если наблюдать Солнце в телескоп.

Что касается формы, то Солнце представляет собой практически идеальный шар, поэтому при рассмотрении наших вопросов можно во всех случаях использовать его средний диаметр (1 391 400 км).

А теперь давайте проверим окончание формулировки первого базового совпадения: «...**в результате чего видимые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе одинаковы**». Так как расстояние от Земли до Солнца и расстояние от Земли до Луны непрерывно меняются, то видимые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе тоже непрерывно меняются. В среднем лунный диск выглядит для земного наблюдателя несколько меньшим, чем солнечный. Видимый (угловой) диаметр Луны при её среднем удалении от Земли $L_{\text{ЗЛсред}} = 384\,400$ км составляет $31'04,5''$, тогда как у Солнца при его среднем удалении от нашей планеты $L_{\text{ЗСсред}} = 149\,598\,261$ км он составляет $31'58,5''$. Ошибка совпадения двух сравниваемых величин также составляет около 2,8%:

$$\frac{31'04,5''}{31'58,5''} \approx 0,972.$$

Конечно, разница между средними угловыми диаметрами лунного и солнечного дисков для земного наблюдателя очень невелика (меньше одной угловой минуты) и практически незаметна на глаз, но мы сейчас стремимся оценить точность базовых совпадений настолько строго, насколько это возможно.

Следует отметить также, что в астрономических справочниках можно встретить и несколько иные значения средних угловых диаметров лунного и солнечного дисков,

отличающиеся от вышеприведённых, хотя, как правило, и очень незначительно – не больше, чем на одну угловую секунду. Так, часто приводимое значение углового диаметра солнечного диска $31'59,3''$ рассчитано, исходя из значения среднего диаметра Солнца 1 392 000 км, которое считалось «официальным» до того, как в 2015 году оно было скорректировано решением Международного астрономического союза до величины 1 391 400 км (то есть, стало на 600 км меньше). Кроме того, иногда приводится значение углового диаметра лунного диска $31'05,3''$, при вычислении которого использован не средний диаметр Луны 3 474,8 км, а её экваториальный диаметр 3 476,2 км (то есть на 1,4 км больше).

В научно-популярной литературе довольно часто отмечается, что примерное равенство солнечного и лунного дисков на земном небе – явление совершенно уникальное, и что больше ни один из спутников в Солнечной системе не наблюдается с соответствующих планет равным по своим кажущимся размерам солнечному диску. Проверим это утверждение на основе наиболее современных астрономических данных.

Всего у главных планет Солнечной системы известно 205 естественных спутников (информация о спутниках дана в этой книге по состоянию на май 2020 года). По своей физической природе спутники могут быть разделены на два совершенно непохожих типа. Есть крупные планетоподобные тела, которые, как и наша Луна имеют сферическую форму, а есть относительно небольшие спутники, имеющие неправильную обломочную форму и совершенно непохожие на нашу Луну.

В первую очередь нас интересуют планетоподобные спутники. Сведения о планетоподобных спутниках, имеющие отношение к вопросу о возможных аналогах первого базового совпадения, приведены в Таблице 1. Средние угловые диаметры планетоподобных спутников при наблюдении со своих планет, как и угловой диаметр Солнца, рассчитаны с помощью стандартных тригонометрических формул. Всего у главных планет Солнечной системы известно 18 планетоподобных спутников. Сравнительные размеры планетоподобных спутников для наглядности показаны также на Рис. 6.

Впрочем, планетоподобные спутники могут встречаться не только у главных, но и у карликовых планет. Так, в 1978 году был открыт Харон – крупный сферический спутник карликовой планеты Плутон. Возможно, что подобные Харону спутники существуют и у других карликовых планет, но пока столь же большие спутники у них не обнаружены. Сведения о Хароне также приведены в Таблице 1.

К группе из семи наиболее крупных планетоподобных спутников относятся (в порядке убывания размеров) Ганимед, Титан, Каллисто, Ио, Луна, Европа и Тритон. Каждый из этих спутников по своим размерам больше Плутона, средний диаметр которого составляет 2 376,6 км. А Ганимед и Титан по своим размерам (но не по массе) даже больше Меркурия, средний диаметр которого равен 4 879,4 км. Так что всех членов этой «великолепной семёрки», если бы они обращались непосредственно вокруг Солнца, вполне можно было бы рассматривать в качестве планет (по крайней мере, карликовых).

Таблица 1.

Средние угловые диаметры планетоподобных спутников при наблюдении со своих планет

Спутник	Среднее расстояние от планеты до спутника (тыс. км) L _{ПлСп сред}	Средний диаметр спутника (в скобках – средний диаметр минимального сечения спутника) (км) D _{Сп сред}	Средний угловой диаметр спутника при наблюдении с планеты	Отношение среднего углового диаметра спутника к среднему угловому диаметру солнечного диска
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник Земли				
<i>Среднее расстояние от Земли до Солнца – 149,598261 млн км; средний угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Земли – 31'58,5"</i>				
Луна	384,40	3 474,8	31'04,5"	0,972
Спутники Юпитера				
<i>Среднее расстояние от Юпитера до Солнца – 778,57 млн км; средний угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Юпитера – 6'08,6"</i>				
Ио*	421,80	3 643,0 (3 635,0)	29'37,6"	4,823
Европа	671,10	3 121,6	15'59,4"	2,603
Ганимед	1 070,40	5 262,4	16'54,1"	2,751
Каллисто	1 882,70	4 820,6	8'48,1"	1,433
Спутники Сатурна				
<i>Среднее расстояние от Сатурна до Солнца – 1 433,53 млн км; средний угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Сатурна – 3'20,2"</i>				
Мимас*	185,52	396,4 (388,0)	7'11,4"	2,155
Энцелад*	238,02	504,2 (499,0)	7'12,4"	2,160
Тефия*	294,66	1 062,2 (1 054,0)	12'17,8"	3,685
Диона*	377,40	1 122,8 (1 121,0)	10'12,7"	3,060
Рея*	527,04	1 527,0 (1 525,0)	9'56,8"	2,981
Титан	1 221,83	5 150,0	14'29,4"	4,343
Япет*	3 561,30	1 468,6 (1 457,6)	1'24,4"	0,422
Спутники Урана				
<i>Среднее расстояние от Урана до Солнца – 2 872,46 млн км; средний угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Урана – 1'39,9"</i>				
Миранда*	129,90	471,6 (467,1)	12'21,7"	7,424
Ариэль*	190,90	1 157,8 (1 155,6)	20'48,6"	12,498
Умбриэль	266,00	1 169,4	15'06,8"	9,077
Титания	436,30	1 577,8	12'25,9"	7,466
Оберон	583,50	1 522,8	8'58,3"	5,388
Спутник Нептуна				
<i>Среднее расстояние от Нептуна до Солнца – 4 495,06 млн км; средний угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Нептуна – 1'03,8"</i>				
Тритон	354,76	2 706,8	26'13,8"	24,668

Спутник	Среднее расстояние от планеты до спутника (тыс. км) L _{ПлСп} сред	Средний диаметр спутника (в скобках – средний диаметр минимального сечения спутника) (км) D _{Сп} сред	Средний угловой диаметр спутника при наблюдении с планеты	Отношение среднего углового диаметра спутника к среднему угловому диаметру солнечного диска
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник карликовой планеты Плутон <i>Среднее расстояние от Плутона до Солнца – 5 906,38 млн км; средний угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Плутона – 0'48,6"</i>				
Харон	19,60	1 212	3°32'36,8"	262,486

* - форма спутника заметно отличается от идеального шара. Расчёт углового диаметра спутника при наблюдении со своей планеты выполнен с использованием значения среднего диаметра минимального сечения (пояснения даны далее по тексту этой главы).

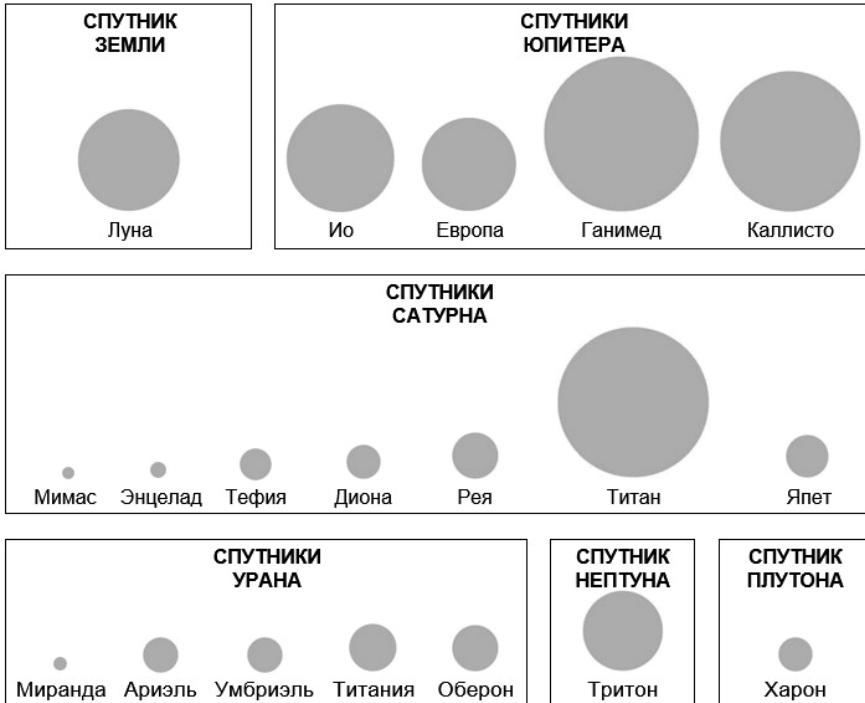


Рис. 6. Сравнительные размеры планетоподобных спутников

Самый же маленький из всех планетоподобных спутников в спутниковых системах главных планет – это спутник Сатурна Мимас, средний диаметр которого составляет 396,4 км. Мимас вообще является самым маленьким в Солнечной системе космическим объектом, для которого установлена не обломочная, а всё-таки ещё отчётливо сферическая форма.

По-видимому, где-то около 400 км находится нижний предел диаметров космических тел, которые ещё могут иметь сферическую форму, обусловленную действием собственной гравитации. Во всяком случае, все сфотографированные с достаточно хорошим разрешением спутники планет и астероиды, которые по своим размерам меньше Мимаса, оказались обломочными телами неправильной формы.

Граница размеров между сферическими и обломочными космическими телами не является очень чёткой. В Солнечной системе известно по крайней мере четыре космических тела, превосходящих по своим размерам Мимас, но имеющих при этом неправильную обломочную форму. Это три самых крупных астероида – Веста (573×557×446 км), Паллада (550×516×476 км) и Гигея (530×407×370 км), а также спутник Нептуна Протей (440×416×404 км). Астероиды Веста, Паллада и Гигея по своим наибольшим измерениям превосходят не только Мимас (396,4 км), но и следующие по размеру два планетоподобных спутника – Миранду (471,6 км) и Энцелад (504,2 км).

Не приходится сомневаться, что все планетоподобные спутники у главных планет Солнечной системы уже открыты. Последний из них (спутник Урана Миранда) был открыт в 1948 году, и с тех пор у главных планет открывают только обломочные спутники, в том числе и очень мелкие, размеры которых иногда измеряются лишь несколькими километрами.

Следует особо отметить, что все восемнадцать планетоподобных спутников главных планет (как и планетоподобный спутник Плутона Харон) являются синхронизированными, то есть, как и наша Луна совершают один оборот вокруг своей оси точно за такие же периоды, за которые они совершают один орбитальный оборот вокруг своих планет. Синхронизированные спутники всегда обращены к своим планетам одной и той же стороной, то есть гипотетические наблюдатели на этих планетах должны постоянно видеть эти спутники практически в одних и тех же сечениях.

Какую форму будут иметь эти сечения, обращённые к гипотетическим наблюдателям на своих планетах? Это зависит от формы спутника. Так, половина из всех планетоподобных спутников имеют форму очень близкую к форме шара. Очевидно, что постоянно обращённое к своей планете сечение таких спутников имеет форму очень близкую к кругу с диаметром равным среднему диаметру спутника.

Среди планетоподобных спутников практически шарообразными телами помимо нашей Луны являются спутники Юпитера Европа, Ганимед и Каллисто; спутник Сатурна Титан, спутники Урана Умбриэль, Титания и Оберон, спутник Нептуна Тритон, а также спутник карликовой планеты Плутон Харон. Экваториальные и полярные диаметры этих тел отличаются друг от друга очень незначительно (например, у Луны – всего лишь на 0,12%). Расчёты средних угловых диаметров этих спутников производились с использованием их средних диаметров и средних расстояний от соответствующих планет.

Вместе с тем, многие планетоподобные спутники заметно отличаются по своей форме от шара и могут быть лучше всего описаны трёхосным эллипсоидом. У синхронизированных «трёхосных» спутников в сторону центра масс планеты всегда направлена их длинная ось. Иными словами, такой спутник всегда направлен своей вытянутостью в сторону планеты, а гипотетический наблюдатель, находящийся на планете, будет видеть спутник в его минимальном сечении. Средний угловой диаметр таких спутников при наблюдении со своей планеты определяется не средним диаметром спутника как такового, а средним диаметром его минимального сечения, которое собственно и обращено к планете и находящемуся на ней гипотетическому наблюдателю.

К числу планетоподобных спутников, имеющих достаточно выраженную форму трёхосных эллипсоидов, относятся спутник Юпитера Ио, спутники Сатурна Мимас, Энцелад, Тефия, Диона и Рея, а также спутники Урана Миранда и Ариэль.

Отдельно надо сказать о спутнике Сатурна Япет, который имеет форму эллипсоида вращения с сильно проявленной сплюснутостью: его экваториальный диаметр примерно на 4,8% больше полярного. Средний угловой диаметр Япета при наблюдении с Сатурна также определяется средним диаметром его минимального сечения, а не средним диаметром спутника как такового. Вопрос о форме планетоподобных спутников и параметрах их минимальных сечений более подробно рассмотрен в Дополнении 5.

Значения отношения среднего углового диаметра спутника к среднему угловому диаметру солнечного диска приведены в пятой колонке Таблицы 1. Для Луны это отношение равно 0,972, то есть, близко к 1. Посмотрим, не отмечается ли что-то подобное для других спутников. Но достаточно даже беглого взгляда на Таблицу 1 или на Рис. 7, чтобы понять, что ни один из планетоподобных спутников других планет не демонстрирует аналогов первого базового совпадения. Практически у всех остальных планетоподобных спутников (за исключением Япета) их средние угловые диаметры значительно превышают угловые диаметры солнечного диска на небе соответствующих планет – как правило, в несколько или даже в десятки раз. Что касается Япета, то его средний угловой диаметр на небе Сатурна, наоборот, значительно (почти в два с половиной раза) меньше, чем средний угловой диаметр солнечного диска.

Самый большой средний угловой диаметр на небе своей планеты имеет Харон – более трёх с половиной градусов, что примерно в семь раз больше, чем средний угловой диаметр Луны на земном небе. Соответственно, кажущаяся площадь диска Харона на небе Плутона в среднем примерно в пятьдесят раз больше кажущейся площади лунного диска на земном небе! А по сравнению с Солнцем Харон на небе Плутона и вовсе выглядит «супергигантом». Средний угловой диаметр Харона больше среднего углового диаметра солнечного диска более чем в двести пятьдесят раз (!). Впрочем, Харон, в каком-то смысле выступает «вне зачёта», так как является лишь спутником карликовой планеты, а не спутником какой-либо из главных планет. Что же касается спутников главных планет, то самые большие кажущиеся размеры в сопоставлении с солнечным диском имеет Тритон – его средний угловой диаметр на небе Нептуна превышает средний угловой диаметр Солнца почти в двадцать пять раз.

Упомянув о Хароне, не стоит забывать, что этот спутник на небе Плутона выглядит очень тусклым – он светит отражённым солнечным светом, а освещённость его поверхности в среднем примерно в 1 600 раз меньше освещённости поверхности Луны. Так что несмотря на свои огромные угловые размеры диск Харона во время полной фазы на небе Плутона отражает в общей сумме намного меньше света, чем лунный диск в полнолуние.

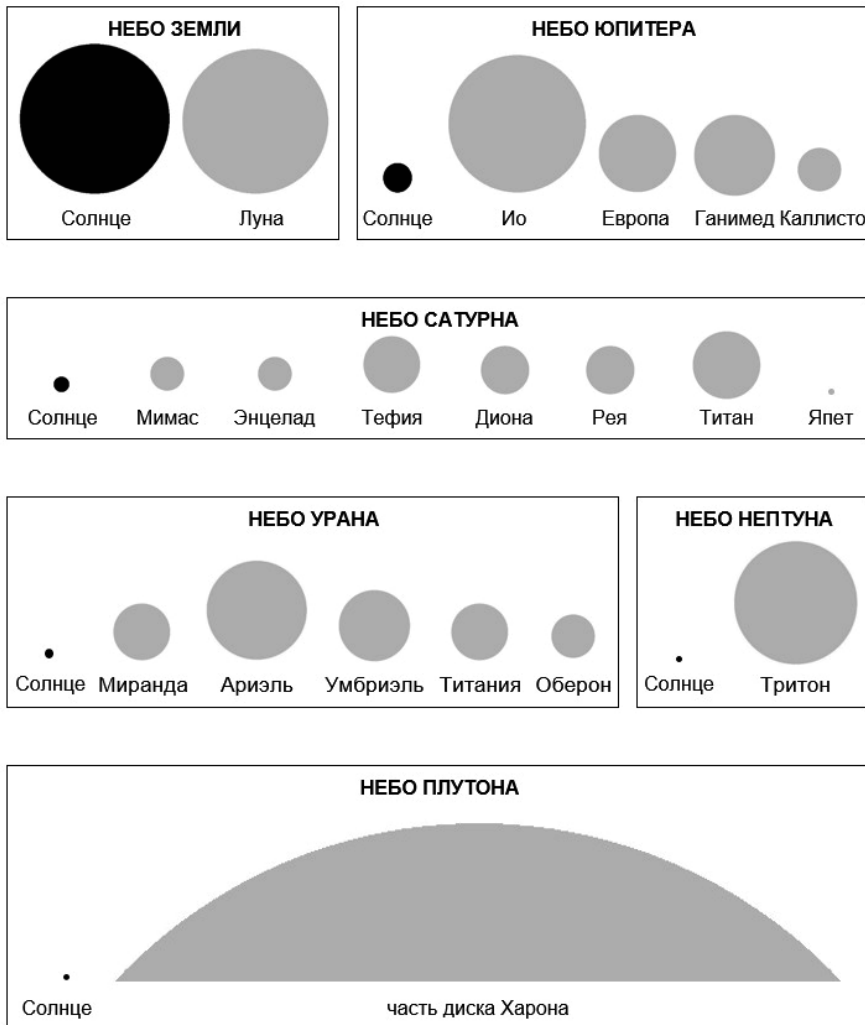


Рис. 7. Сравнительные средние кажущиеся размеры Солнца и планетоподобных спутников при наблюдении со своих планет

Наиболее же близкие к солнечному диску угловые размеры среди всех планетоподобных спутников кроме нашей Луны имеет спутник Юпитера Каллисто. Его средний угловой диаметр на небе Юпитера «всего лишь» на 43,3% больше среднего углового диаметра Солнца. Но и даже такой самый «лучший» среди всех планетоподобных спутников результат, конечно же, не идёт ни в какое сравнение с результатом, демонстрируемым нашей Луной – ошибка совпадения средних угловых диаметров лунного и солнечного дисков на земном небе, как уже говорилось выше, составляет только 2,8%.

Глава III

МОМЕНТЫ ИДЕАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ

(первое базовое совпадение)

Итак, видимый диаметр лунного диска на земном небе в среднем на 2,8% меньше, чем видимый диаметр солнечного диска. Но это лишь «в среднем»: в действительности же, кажущиеся угловые размеры и лунного, и солнечного дисков меняются в довольно широких пределах, поэтому в конкретные моменты времени диск Луны может выглядеть для земного наблюдателя как несколько меньше, так и несколько больше, чем диск Солнца. Угловые размеры Луны и Солнца зависят от конкретных значений расстояния между наблюдателем и этими космическими телами в данный момент, которые, в свою очередь, меняются в зависимости от положения Луны и Земли на своих орбитах, а также в какой-то мере и от положения наблюдателя на земной поверхности.

Рассмотрим вначале, как меняется в течение года расстояние от Земли до Солнца. Земля, как и все остальные планеты Солнечной системы, в соответствии с первым законом Кеплера, обращается вокруг Солнца по орбите, имеющей форму эллипса, в одном из фокусов которого расположено Солнце (Рис. 8). Точка, в которой планета находится на минимальном расстоянии от Солнца, называется перигелием, а на максимальном – афелием.

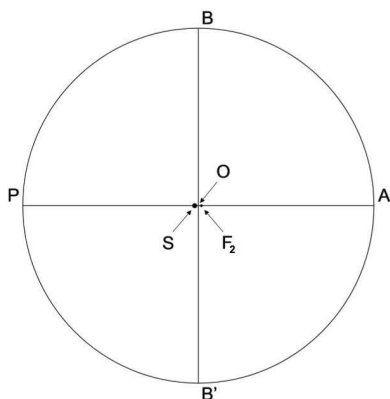


Рис. 8. Орбита Земли

- S – Солнце, находящееся в одном из фокусов эллипса;
- A – афелий (точка, в которой Земля находится на максимальном расстоянии от Солнца);
- P – перигелий (точка, в которой Земля находится на минимальном расстоянии от Солнца);
- O – центр эллипса;
- F_2 – второй фокус эллипса;
- AP – большая ось эллипса;
- BB' – малая ось эллипса.

В точках O и F_2 никаких космических тел нет.

Рис. 8, на котором изображена земная орбита, у многих читателей может вызвать некоторое недоумение. Ведь общеизвестно, что орбита нашей планеты имеет форму эллипса, а на рисунке земная орбита неотличима от окружности. Действительно, в учебной и научно-популярной литературе при объяснении элементов орбит планет для наглядности обычно приводятся заметно вытянутые эллипсы. Но в реальности орбиты всех главных планет имеют довольно «круглую» форму, ярким примером чему, в частности, может служить и орбита Земли. Так, большая ось орбиты Земли AP имеет длину 299 196,5 тыс. км, а малая ось BB' – 299 154,8 тыс. км, то есть различие между ними составляет лишь 0,014%.

Расстояние от Земли до Солнца меняется от $L_{ЗСmin} = 147\,098\,290$ км в перигелии до $L_{ЗСmax} = 152\,098\,232$ км в афелии. При наблюдении с указанных расстояний угловой диаметр Солнца должен меняться в пределах от $31'26,9''$ (в афелии) до $32'31,1''$ (в перигелии). Заметим, что в современную эпоху Земля проходит перигелий своей орбиты в начале января, а афелий – в начале июля.

Для жителей северного полушария получается, что Земля находится ближе всего к Солнцу зимой, тогда как летом Земля находится дальше всего от Солнца. Соответственно, солнечный диск имеет наибольшие кажущиеся размеры зимой, а летом – наименьшие.

Спутники также обращаются вокруг своих планет по орбитам, имеющим форму эллипса. В одном из фокусов эллипса находится сама планета. Это в полной мере относится и к нашей Луне, орбита которой имеет форму эллипса, в одном из фокусов которого находится Земля (Рис. 9). Самая близкая к Земле точка лунной орбиты называется перигеем, а самая дальняя – апогеем.

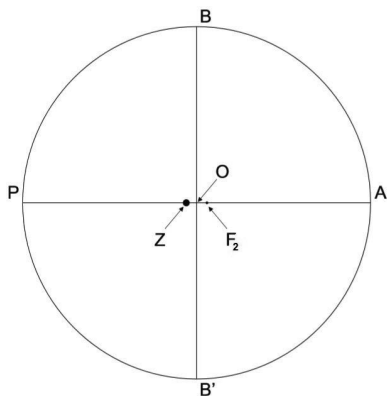


Рис. 9. Орбита Луны

Z – Земля, находящаяся в одном из фокусов эллипса;
 A – апогей (точка, в которой Луна находится на максимальном расстоянии от Земли);
 P – перигей (точка, в которой Луна находится на минимальном расстоянии от Земли);
 O – центр эллипса;
 F_2 – второй фокус эллипса;
 AP – большая ось эллипса;
 BB' – малая ось эллипса.

В точках O и F_2 никаких космических тел нет.

Эллипс лунной орбиты, как и эллипс земной орбиты, на глаз неотличим от окружности. В этом нет ничего удивительного, ведь различие между большой и малой осями эллипса составляет лишь около 0,15% (большая ось орбиты Луны AP имеет длину 768,8 тыс. км, а малая ось BB' – 767,6 тыс. км). Однако эксцентricность лунной орбиты (то есть смещение центрального тела относительно геометрического центра эллипса) выражена сильнее и в отличие от эксцентricности земной орбиты может быть легче замечена на глаз.

Во многих астрономических справочниках (в том числе и на официальном сайте НАСА) указывается, что расстояние от Земли до Луны в точке перигея составляет $L_{3Lmin} = 363,3$ тыс. км, а расстояние от Земли до Луны в точке апогея $L_{3Lmax} = 405,5$ тыс. км. При наблюдении с указанных расстояний угловой диаметр Луны должен меняться в пределах от $29'27,5''$ (в апогее) до $32'52,8''$ (в перигее). Заметим, что форма лунной орбиты испытывает своего рода периодические «пульсации», о чём будет говориться чуть дальше, а только что приведённые здесь данные соответствуют расстоянию от Земли до среднего перигея и расстоянию от Земли до среднего апогея лунной орбиты.

Как видим, диапазон ежегодных изменений углового диаметра солнечного диска ($31'26,9'' \div 32'31,1''$) целиком уместается внутри полученного диапазона ежемесячных изменений углового диаметра лунного диска ($29'27,5'' \div 32'52,8''$). Из этого должно следовать, что в течение любого лунного месяца, какую-то часть времени диск Луны для земного наблюдателя выглядит по своим кажущимся размерам меньше, чем диск Солнца, а какую-то часть времени – наоборот, больше. Из этого в свою очередь можно сделать вывод, что в каждом лунном месяце имеются два момента времени, когда угловые диаметры лунного и солнечного дисков в точности равны друг другу. Можно сказать, что в такие моменты времени первое базовое совпадение выполняется идеально.

Впрочем, вопрос о диапазоне ежемесячных изменений угловых размеров лунного диска для земного наблюдателя оказывается несколько сложнее, причём сразу по двум причинам.

Во-первых, реальное расстояние между центром Луны и той точкой на земной поверхности, где находится наблюдатель, будет несколько меньше, чем то, что принято называть расстоянием от Земли до Луны. Напомним, что под расстоянием между космическими телами в астрономии подразумевается расстояние между центрами их масс, то есть в данном случае между центрами масс Земли и Луны. Так что, указанные выше «табличные» расстояния – это расстояния между центрами масс Земли и Луны в соответствующие моменты времени. Но ведь, когда мы наблюдаем на земном небе Луну и другие космические объекты, то мы находимся не в центре масс Земли, а в какой-либо точке на земной поверхности!

В каждый конкретный момент времени ближе всего к Луне находится тот наблюдатель, который видит её в зените, а дальше всего от Луны находится тот наблюдатель, который видит её на горизонте. А значит, именно для наблюдателя, который видит Луну в зените, угловые размеры лунного диска в этот момент времени будут максимальными, а для наблюдателя, который видит Луну на горизонте – минимальными.

Вопрос о том, как меняется реальное расстояние от наблюдателя до центра Луны, в зависимости от того в какой точке земной поверхности находится наблюдатель, а также

вопрос о том, как при этом меняется угловой диаметр лунного диска, рассмотрен в Дополнении 6.

Во-вторых, обращение Луны вокруг Земли отнюдь не представляет из себя повторяющееся из раза в раз движение по какому-то раз и навсегда вычерченному эллипсу. Орбитальное движение Луны характеризуется многими «неправильностями», получившими название лунных неравенств, причиной которых является гравитационное влияние «третьих» тел, и прежде всего возмущающее влияние Солнца. В аспекте рассматриваемой здесь проблемы среди различных «неправильностей» движения Луны важны периодические колебания эксцентриситета её орбиты, то есть, по сути дела, «пульсации» формы лунной орбиты. В результате этих «пульсаций» орбита становится то более «круглой» при уменьшении эксцентриситета, то более вытянутой при его увеличении.

Напомним, что эксцентриситетом называется специальный параметр, который характеризует степень вытянутости орбит планет, спутников и других космических тел. Для эллиптических орбит эксцентриситет может меняться в пределах от 0 до 1. Если эксцентриситет равен нулю, то орбита имеет форму идеальной окружности. По мере увеличения эксцентриситета орбита приобретает форму всё более и более вытянутого эллипса, а когда эксцентриситет достигает единицы, она приобретает форму разомкнутой бесконечной параболы.

Эксцентриситет эллипса по сути дела характеризует степень смещения фокусов эллипса относительно его центра. Минимальное (L_{\min}), среднее ($L_{\text{сред}}$) и максимальное (L_{\max}) расстояния от центрального тела до спутника связаны с эксцентриситетом (e) эллиптических орбит простыми зависимостями:

$$L_{\min} = L_{\text{сред}} \times (1 - e);$$

$$L_{\max} = L_{\text{сред}} \times (1 + e).$$

«Пульсации» формы лунной орбиты происходят довольно быстро. Вообще говоря, колебания эксцентриситета лунной орбиты являются суперпозицией нескольких циклов различной амплитуды и продолжительности, но наиболее выразительный из этих циклов длится всего лишь 206 дней, то есть, чуть меньше семи месяцев. Колебания эксцентриситета лунной орбиты никак не привязаны к годовичному земному календарю, поэтому лунные месяцы с самой «круглой» и с самой вытянутой формой орбиты в разные годы могут приходиться на совершенно разное время года.

Среднее значение эксцентриситета лунной орбиты составляет 0,0549. Что же касается пределов колебаний эксцентриситета лунной орбиты, то в различных источниках приводятся несколько различающиеся оценки, соответственно, несколько различаются и оценки пределов колебаний расстояния от Земли до Луны в перигее и в апогее.

На официальном сайте НАСА указано, что расстояние от Земли до Луны может меняться от 357,0 тыс. км до 407,0 тыс. км – эти цифры соответствуют ситуации, когда орбита Луны имеет наиболее вытянутую форму (первая цифра – это расстояние до Луны в самом ближайшем из всех возможных перигеев, а

вторая цифра – это расстояние до Луны в самом дальнем из всех возможных апогеев).

Реальное расстояние от наблюдателя на земной поверхности до центра Луны может меняться в таком случае в пределах от 350,62 тыс. км (когда Луна находится в перигее, а земной наблюдатель видит её в зените и при этом ещё находится на экваторе) до 406,95 тыс. км (когда Луна находится в апогее, а земной наблюдатель видит её на горизонте). При наблюдении с указанных расстояний угловой диаметр Луны меняется в пределах от 29'21,2" (в апогее на горизонте) до 34'04,2" (в перигее в зените).

Что касается ситуации, когда орбита Луны имеет наиболее «круглую» форму, то наиболее часто указывается, что расстояние от Земли до Луны меняется в этом случае от 370,4 тыс. км до 404,0 тыс. км (первая цифра – это расстояние до Луны в самом дальнем из всех возможных перигеев, а вторая цифра – это расстояние до Луны в самом ближнем из всех возможных апогеев).

Реальное расстояние от наблюдателя на земной поверхности до центра Луны в те периоды, когда лунная орбита имеет наиболее «круглую» форму, может меняться в пределах от 364,02 тыс. км (когда Луна находится в перигее, а земной наблюдатель видит её в зените и при этом находится на экваторе) до 403,95 тыс. км (когда Луна находится в апогее, а земной наблюдатель видит её на горизонте). При наблюдении с указанных расстояний угловой диаметр Луны меняется в пределах от 29'34,3" (в апогее на горизонте) до 32'48,9" (в перигее в зените).

Диапазон возможных ежегодных изменений видимого диаметра солнечного диска (31'26,9"÷32'31,1") целиком помещается в пределы возможных месячных изменений видимого диаметра лунного диска в обоих крайних случаях (Рис. 10): как в случае наиболее «круглой» орбиты Луны (29'34,3÷32'48,9"), так и в случае наиболее вытянутой её орбиты (29'21,2÷34'04,2"), а значит и во всех промежуточных случаях.



Рис. 10. Соотношение минимальных и максимальных угловых размеров лунного и солнечного дисков в случае наиболее «круглой» и наиболее вытянутой лунной орбиты

Из этого следует, что каждый лунный месяц (вне зависимости от времени года и текущего значения эксцентриситета лунной орбиты) земной наблюдатель какую-то часть времени видит лунный диск меньшим по кажущимся размерам, чем солнечный диск, а какую-то часть времени, наоборот, лунный диск выглядит больше, чем солнечный (по крайней мере, для наблюдателя, находящегося в весьма широкой полосе земной поверхности по обе стороны от экватора). Мы можем сделать окончательный вывод: в современную эпоху в течение каждого лунного месяца вне зависимости от текущего значения эксцентриситета лунной орбиты (в реальном диапазоне его изменения) обязательно бывают два момента времени, когда видимые угловые размеры лунного и солнечного дисков при наблюдении из каких-то точек земной поверхности будут совершенно одинаковыми.

Представляет определённый интерес и вопрос о том, в каких реальных пределах может меняться отношение углового диаметра лунного диска к угловому диаметру солнечного диска. В среднем оно составляет $0,972$ ($31^{\circ}04,5''/31^{\circ}58,5''$). Минимальное отношение, равное $0,903$ ($29^{\circ}21,2''/32^{\circ}31,1''$), отмечается тогда, когда Земля находится в самой ближней точке своей орбиты (в перигелии), а Луна – в самом дальнем из всех возможных апогеев, при этом наблюдатель видит Луну на горизонте. Максимальное отношение равно $1,083$ ($34^{\circ}04,2''/31^{\circ}26,9''$) отмечается тогда, когда Земля находится в самой дальней точке своей орбиты (в афелии), а Луна – в самом ближнем из всех возможных перигеев, при этом наблюдатель располагается на экваторе и видит Луну в зените.

Глава IV

ДРУГИЕ СПУТНИКИ НЕ ПОДХОДЯТ (первое базовое совпадение)

Несмотря на то, что средние угловые диаметры лунного и солнечного дисков на земном небе несколько различаются, мы могли убедиться, что в течение каждого лунного месяца обязательно имеют место два момента времени, когда угловые размеры Луны и Солнца на земном небе совпадают идеально. Так может быть что-то подобное, хотя бы иногда отмечается и для каких-нибудь других планетоподобных спутников других планет?

Чтобы ответить на этот вопрос, надо вначале для каждой планеты, имеющей планетоподобные спутники, выяснить диапазон изменения углового диаметра солнечного диска на небе этой планеты в течение её «года». Затем надо определить, в каком диапазоне на небе всех таких планет может меняться угловой диаметр каждого из планетоподобных спутников. После этого, останется лишь сравнить диапазоны возможных изменений углового диаметра солнечного диска с диапазонами возможных изменений угловых диаметров дисков этих спутников. И если у какого-то из спутников эти диапазоны хоть чуть-чуть пересекутся, это будет означать, что такой спутник, как и Луна, в какие-то моменты времени смотрится с поверхности своей планеты равным по своим угловым размерам диску Солнца.

Максимальные и минимальные угловые диаметры всех планетоподобных спутников при наблюдении со своих планет, а также максимальные и минимальные угловые диаметры солнечного диска при наблюдении с этих же планет приведены в Таблице 2. Также в этой таблице даны минимально и максимально возможные отношения углового диаметра каждого планетоподобного спутника к угловому диаметру солнечного диска. В случае Луны в диапазон возможных изменений этого отношения ($0,903 \div 1,083$) попадает величина равная 1, что соответствует моментам кажущегося равенства солнечного и лунного диска. Проверим, не отмечается ли что-то подобное для других спутников.

Минимально возможные угловые диаметры спутников при наблюдении со своей планеты рассчитаны для ситуации, когда спутник находится в самой дальней от планеты точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель находится на полюсе планеты и видит спутник на горизонте. Максимально возможные угловые диаметры спутников рассчитаны для ситуации, когда спутник находится в самой ближней к планете точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель находится на экваторе планеты и видит спутник в зените.

Более подробно ознакомиться с тем, как были выполнены эти вычисления можно в Дополнении 7.

Минимальные отношения угловых диаметров спутников к угловому диаметру Солнца рассчитаны путём деления минимально возможного углового диаметра спутника на максимально возможный угловой диаметр Солнца. Максимальные отношения угловых диаметров спутников к угловому диаметру Солнца рассчитаны путём деления максимально возможного углового диаметра спутника на минимально возможный угловой диаметр Солнца.

Таблица 2.

Минимально и максимально возможные угловые диаметры дисков планетоподобных спутников и Солнца на небе планет

Спутник	Угловой диаметр диска спутника на небе планеты		Отношение углового диаметра спутника к угловому диаметру Солнца	
	минимальный	максимальный	минимальное	максимальное
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник Земли <i>Минимальный угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Земли – 31'26,9"; максимальный – 32'31,1"</i>				
Луна*	29'21,2"	34'04,2"	0,903	1,083
Спутники Юпитера <i>Минимальный угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Юпитера – 5'51,4"; максимальный – 6'27,6"</i>				
Ио	29'52,9"	35'50,7"	4,626	6,120
Европа	15'55,5"	18'04,8"	2,465	3,087
Ганимед	16'55,0"	18'07,8"	2,619	3,096
Каллисто	8'44,8"	9'13,0"	1,354	1,574
Спутники Сатурна <i>Минимальный угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Сатурна – 3'09,5"; максимальный – 3'32,2"</i>				
Мимас	7'21,5"	10'58,7"	2,081	3,476
Энцелад	7'22,1"	9'42,6"	2,083	3,074
Тетфия	12'30,7"	15'27,5"	3,538	4,894
Диона	10'17,7"	12'11,0"	2,911	3,858
Рея	9'59,4"	11'14,7"	2,825	3,560
Титан	14'05,5"	15'43,5"	3,984	4,979
Япет	1'22,1"	1'28,4"	0,387	0,466
Спутники Урана <i>Минимальный угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Урана – 1'35,6"; максимальный – 1'44,7"</i>				
Миранда	12'32,7"	15'22,3"	7,189	9,647
Ариэль	20'57,7"	24'03,4"	12,012	15,098
Умбриэль	15'07,2"	16'47,5"	8,665	10,539
Титания	12'26,3"	13'13,3"	7,128	8,298
Оберон	8'58,0"	9'23,8"	5,138	5,897

Спутник	Угловой диаметр диска спутника на небе своей планеты		Отношение углового диаметра спутника к угловому диаметру Солнца	
	минимальный	максимальный	минимальное	максимальное
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник Нептуна <i>Минимальный угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Нептуна – 1'03,1"; максимальный – 1'04,6"</i>				
Тритон	26'17,5"	28'11,9"	24,420	26,813
Спутник карликовой планеты Плутон <i>Минимальный угловой диаметр солнечного диска при наблюдении с Плутона – 0'38,9"; максимальный – 1'04,7"</i>				
Харон	3°33'02,9"	3°46'21,6"	197,572	349,141

* - данные по Луне приведены с учётом хорошо изученных «пульсаций» формы лунной орбиты, рассмотренных в Главе III.

Сопоставление диапазонов возможных изменений угловых диаметров дисков планетоподобных спутников и возможных изменений углового диаметра солнечного диска показывает, что все планетоподобные спутники за исключением нашей Луны и спутника Сатурна Япет всегда и при любых обстоятельствах выглядят на небе своих планет значительно бóльшими по своим угловым размерам, чем диск Солнца. Что же касается Япета, то он, наоборот, всегда выглядит на небе Сатурна значительно меньшим, чем диск Солнца. Таким образом, ни один планетоподобный спутник кроме нашей Луны никогда и ни при каких обстоятельствах не бывает виден на небе своей планеты равным по угловым размерам диску Солнца.

Наиболее близкие к солнечному диску видимые размеры из всех планетоподобных спутников (за исключением нашей Луны) имеет спутник Юпитера Каллисто: его угловой диаметр при наблюдении с Юпитера при самых «благоприятных» обстоятельствах может составлять 135,4% углового диаметра Солнца. Это, конечно же, очень далеко от того стопроцентного совпадения, которое регулярно дважды в месяц демонстрирует наша Луна. Тем не менее, если пользоваться спортивной терминологией – это «наилучший» результат, достигнутый каким-либо из планетоподобных спутников кроме нашей Луны.

Происходят ли на других планетах полные солнечные затмения? Да, в каком-то смысле можно сказать, что полные солнечные затмения могут происходить не только с участием нашей Луны, но и с участием любого другого планетоподобного спутника за исключением Япета. Правда, затмения на других планетах по своей красоте и эффектности не могут идти ни в какое сравнение с затмениями, которые можно наблюдать на Земле. В максимальной фазе полных солнечных затмений, наблюдаемых с других планет, за дисками спутников будут прятаться не только сам диск Солнца, но и солнечная корона, поэтому гипотетический наблюдатель на другой планете в лучшем случае будет видеть просто чёрный диск спутника в потемневшем небе. Ну разве что в случае Каллисто, в момент максимальной фазы затмения по краям этого диска будут видны внешние «клочки»

солнечной короны. Что же касается Япета, то его диск на небе Сатурна выглядит всегда значительно меньше диска Солнца, поэтому полных солнечных затмений, связанных с Япетом, при наблюдении с поверхности Сатурна не может быть вообще.

Итак, ни один шарообразный планетоподобный спутник кроме нашей Луны никогда не бывает виден на небе своей планеты равным по угловым размерам диску Солнца. Но может быть среди многочисленных обломочных спутников найдутся такие, средние угловые размеры которых при наблюдении с соответствующих планет будут равны угловым размерам солнечного диска?

По большому счёту, обломочные спутники в рассматриваемом контексте вообще не должны представлять интереса, ведь на небосводе своих планет они будут иметь неровную угловатую форму и уже только этим резко отличаться от идеально круглого диска Солнца. Но всё же, чтобы ничего не упустить, давайте обсудим и их тоже.

Краткая сводка по размерам обломочных спутников главных планет Солнечной системы приведена в Дополнении 8.

Подавляющее большинство известных обломочных спутников главных планет (167 из 187) при наблюдении с поверхности своих планет всегда выглядят меньшими в сравнении с диском Солнца.

Меньше солнечного диска с поверхности своих планет всегда выглядят оба спутника Марса (Фобос и Деймос), все 75 обломочных спутников Юпитера, 73 из 75 обломочных спутников Сатурна, 11 из 22 обломочных спутников Урана, а также 6 из 13 обломочных спутников Нептуна.

В то же время некоторые обломочные спутники (18 из 187), наоборот, всегда выглядят большими в сравнении с диском Солнца.

Больше солнечного диска с поверхности своих планет всегда выглядят спутник Сатурна Янус, 10 спутников Урана (Корделия, Офелия, Бианка, Крессида, Дездемона, Джульетта, Порция, Розалинда, Белинда и Пак) и 7 спутников Нептуна (Наяда, Таласса, Деспина, Галатей, Ларисса, Гиппокамп и Протей).

Но как оказалось, среди 187 обломочных спутников главных планет всё-таки нашлось два таких, которые какую-то часть своего «месяца» должны выглядеть на небе своих планет больше, чем диск Солнца, а какую-то – меньше. А значит, в какие-то моменты времени каждый из них имеет такие же видимые размеры (точнее, занимает на небе своих планет точно такую же кажущуюся площадь), что и диск Солнца. Этими двумя спутниками являются спутник Сатурна Эпиметей, названный по имени одного из титанов в древнегреческой мифологии, и спутник Урана Пердита, носящий имя одной из героинь Шекспира.

Спутник Сатурна Эпиметей представляет собой тело неправильной обломочной формы размерами 130×114×106 км. Он впервые наблюдался в 1966 году с помощью наземного телескопа, а затем был многократно сфотографирован с близкого расстояния автоматическими межпланетными станциями. Заметим, что среди обломочных спутников Сатурна есть ещё два, которые хотя и никогда не бывают видны на небе Сатурна равными

по кажущейся площади солнечному диску, как это имеет место в случае Эпиметей, но в наиболее «благоприятные» моменты очень близки к этому. Это – открытые в 1980 году спутники Пандора и Прометей, которые были обнаружены на фотографиях автоматической межпланетной станции «Вояджер-1». Любопытно, что согласно древнегреческой мифологии Пандора была женой Эпиметей, а Прометей – его братом.

Что касается спутника Урана Пердита, то его диаметр оценивается всего лишь в 26 км, при этом его форма пока остаётся неизвестной, так как он ещё ни разу не был сфотографирован с хорошим разрешением. Этот спутник был впервые обнаружен в 1999 году на фотографиях, полученных за тринадцать лет до этого при пролёте в 1986 году автоматической межпланетной станции «Вояджер-2» в окрестностях Урана. Правда, подтвердить существование этого спутника удалось далеко не сразу, и в 2001 году его открытие даже было признано ошибкой. Но в 2003 году его всё-таки нашли с помощью орбитального телескопа «Хаббл» именно в том месте, где он и должен был находиться согласно предыдущим расчётам его орбиты. Тем самым существование временно потерянного спутника было доказано.

Завершая разговор о видимых размерах обломочных спутников при наблюдении со своих планет, нельзя не упомянуть и Нереиду – второй по времени открытия и третий по размерам спутник Нептуна. Этот спутник был открыт в 1949 году и долгое время считалось, что, когда он находится в самой ближней точке своей орбиты, его угловые размеры при наблюдении с Нептуна почти совпадают с угловыми размерами солнечного диска. Однако в 1989 году, когда в окрестностях Нептуна пролетела автоматическая межпланетная станция «Вояджер-2», выяснилось, что Нереида по своим размерам заметно меньше, чем думали прежде, из чего следует, что этот спутник по своим угловым размерам на небе Нептуна должен быть всё-таки заметно меньше, чем диск Солнца.

Ознакомиться с расчётами угловых размеров Эпиметей, Пандоры и Прометей при наблюдении с Сатурна, угловых размеров Пердиты при наблюдении с Урана и угловых размеров Нереиды при наблюдении с Нептуна можно в Дополнении 9.

Впрочем, совпадения, которые демонстрируют Эпиметей и Пердита, вряд ли можно называть аналогами первого базового совпадения, которое демонстрирует наша Луна. Ведь Луна – это практически идеальный шар, форма которого осложнена лишь неровностями рельефа и очень небольшим осевым сжатием. Сечение этого шара – почти идеальный круг, поэтому в моменты равенства угловых диаметров Солнца и Луны мы можем наблюдать эти два наших главных светила не только равными по их кажущейся площади на небе, но и практически совершенно одинаковыми по форме. Что же касается Эпиметей, то он имеет неправильную обломочную форму, поэтому с любого ракурса (в том числе и при наблюдении со своей планеты) его можно видеть только как тело с неровными краями. Даже в те моменты, когда средний угловой диаметр Эпиметей будет совпадать с угловым диаметром солнечного диска – они будут совершенно не совпадать по форме. То же самое почти наверняка можно сказать и о Пердите, хотя, как уже было отмечено выше, фотографий этого спутника, сделанных с хорошим разрешением, пока что не имеется, и его форма остаётся неизвестной.

Заметим, также, что Луна является единственным спутником у своей планеты, тогда как и Эпиметей, и Пердита – это в обоих случаях всего лишь один из множества спутников своих планет. Так, Эпиметей – один из восьмидесяти двух обнаруженных к настоящему времени спутников Сатурна,

а Пердита – один из двадцати семи известных спутников Урана. Если в какой-то системе существует очень много объектов, то нет ничего удивительного, что у какого-либо из этих объектов какой-то из параметров может численно совпасть, по большому счёту, с чем угодно. И совсем другое дело, когда какое-то очень необычное совпадение демонстрирует один единственный объект в системе, как это имеет место в случае нашей Луны.

Не стоит также забывать, что в случае совпадений, демонстрируемых Эпиметеем и Пердитой, речь, в общем-то, идёт лишь о некоторых арифметических абстракциях, ведь ни у Сатурна, ни у Урана нет никакой чётко выраженной твёрдой или жидкой поверхности, на которой мог бы разместиться, как-то зафиксировав своё положение, наш гипотетический наблюдатель. За поверхность Сатурна и Урана условно принимается верхняя поверхность сплошного слоя облаков, окутывающего всю планету.

Глава V

ИЗМЕРЯЯ КОСМОС СОЛНЕЧНЫМ ДИАМЕТРОМ (второе базовое совпадение)

Сущность второго базового совпадения состоит в том, что *отношение расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца равно отношению диаметра Солнца к диаметру Земли*

$$\frac{L_{зс}}{D_c} = \frac{D_c}{D_з},$$

где: $L_{зс}$ – расстояние от Земли до Солнца;

D_c – диаметр Солнца;

$D_з$ – диаметр Земли.

Как уже было отмечено в Главе I, когда говорят об этом совпадении, то чаще всего уточняют, что под расстоянием от Земли до Солнца в этом случае подразумевается максимальное расстояние, то есть, когда Земля находится в афелии – наиболее удалённой от Солнца точке своей орбиты. В таком случае и левая и правая части вышеприведённого уравнения примерно равны 109. Проверим это на основе точных современных данных.

Вначале рассчитаем отношение максимального расстояния от Земли до Солнца $L_{зсmax}$ к среднему диаметру Солнца $D_{сред}$:

$$\frac{L_{зсmax}}{D_{сред}} = \frac{152\,098\,232 \text{ км}}{1\,391\,400 \text{ км}} = 109,313.$$

Под отношением диаметров Солнца и Земли будем подразумевать отношение среднего диаметра Солнца $D_{сред}$ к среднему диаметру Земли $D_{зсред}$:

$$\frac{D_{сред}}{D_{зсред}} = \frac{1\,391\,400 \text{ км}}{12\,742,000 \text{ км}} = 109,198.$$

Из этого следует, что:

$$\frac{L_{зсmax}}{D_{сред}} : \frac{D_{сред}}{D_{зсред}} = 109,313 : 109,198 \approx 1,001.$$

Ошибка совпадения двух сравниваемых отношений составляет всего лишь около 0,1%! Что и говорить, совпадение впечатляющее. Диаметр Солнца выступает, образно говоря, как огромный космический эталон, с помощью которого Природа «наметила» и размеры Земли, и её максимальное удаление от Солнца в движении по своей орбите.

Любопытно, что если взять для расчётов значение среднего диаметра Солнца, которое использовалось до 2015 года, то есть, 1 392 000 км, то результат получится даже ещё точнее. Отношение ($L_{3Cmax}/D_{Cсред}$) в таком случае составляло бы 109,266, а отношение ($D_{Cсред}/D_{Зсред}$) было бы равно 109,245. Ошибка совпадения двух сравниваемых отношений оказалась бы равной всего лишь 0,02%. Впрочем, как только что было сказано, на самом деле эта ошибка составляет около 0,1%.

Тот факт, что отношение ($L_{3Cmax}/D_{Cсред}$) совпадает с высокой точностью с отношением ($D_{Cсред}/D_{Зсред}$), отмечается в научно-популярной литературе на протяжении многих десятилетий, и такое точное совпадение безусловно производило на многих очень сильное впечатление. Однако, у этого совпадения есть своя «ахиллесова пята».

Дело в том, что земная орбита, как и орбита Луны, тоже «пульсирует», принимая то более «круглую» форму в эпохи минимального эксцентриситета, то более вытянутую форму в эпохи максимального эксцентриситета. Сложные периодические колебания при этом испытывает и такой параметр, как максимальное (в течение одного годового оборота) расстояние от Земли до Солнца L_{3Cmax} .

Согласно модели, которую разработал немецкий астроном Йоахим Гизен [Joachim Giesen], эксцентриситет земной орбиты меняется по сложному закону в пределах от 0,00231 до 0,05767. Напомним, что текущее значение эксцентриситета земной орбиты в современную эпоху равно 0,01671.

Заметим, что даже тогда, когда земная орбита имеет максимально возможный эксцентриситет ($e = 0,05767$), то есть, имеет наиболее вытянутую форму, она по-прежнему остаётся практически неотличимой на глаз от окружности.

Более подробно о модели Йоахима Гизена можно прочитать в Дополнении 10. Здесь же отметим лишь, что колебания эксцентриситета земной орбиты являются суперпозицией нескольких циклов различной амплитуды и продолжительности, при этом по сравнению с колебаниями эксцентриситета лунной орбиты «пульсации» орбиты Земли являются гораздо более длительными. Так, если наиболее выразительный цикл колебаний эксцентриситета орбиты Луны имеет продолжительность всего лишь около 206 суток, то во всех расчётных моделях колебаний эксцентриситета земной орбиты продолжительность главных циклов измеряется десятками и даже сотнями тысяч лет! Общепринятой точки зрения о конкретной продолжительности этих циклов пока нет, но заметим, что для наших целей не столь важны оценки периодичности изменений эксцентриситета земной орбиты, сколь оценки максимального диапазона этих изменений. Существующие расчётные модели, хотя и различаются в деталях, но по порядку величины дают довольно близкие значения минимально возможного и максимально возможного эксцентриситета земной орбиты.

Колебаниям эксцентриситета земной орбиты соответствуют в частности колебания максимального (в течение одного годового оборота) расстояния от Земли до Солнца L_{3Cmax} , которое меняется в модели Гизена в пределах от 149 944 тыс. км в эпохи наименьшего эксцентриситета до 158 226 тыс. км в эпохи наибольшего эксцентриситета:

$$L_{3Cmax} = 149\,944 \div 158\,226 \text{ тыс. км.}$$

Из этого следует, что отношение ($L_{3Cmax}/D_{Cсред}$), составляющее в настоящую эпоху 109,313, может меняться от 107,765 в эпохи наименьшего эксцентриситета до 113,717 в эпохи наибольшего эксцентриситета:

$$\frac{L_{3Cmax}}{D_{Cсред}} = 107,765 \div 113,717.$$

Как видим, совпадение отношения ($L_{3Cmax}/D_{Cсред}$) с отношением средних диаметров Солнца и Земли ($D_{Cсред}/D_{Зсред}$) = 109,198 уже не выглядит таким впечатляющим. «Отношение отношений» может меняться в пределах:

$$\frac{L_{3Cmax}}{D_{Cсред}} : \frac{D_{Cсред}}{D_{Зсред}} = \frac{L_{3Cmax}}{D_{Cсред}} : 109,198 = 0,987 \div 1,041.$$

Ошибка этого совпадения в отдельные эпохи (при наиболее вытянутой форме земной орбиты) может превышать 4%.

Тот же факт, что быстро меняющееся с течением геологического времени отношение ($L_{3Cmax}/D_{Cсред}$), составляющее в настоящую эпоху 109,313, совпадает сейчас с постоянным отношением ($D_{Cсред}/D_{Зсред}$) = 109,198 с ошибкой всего лишь около 0,1%, можно считать случайностью. Всего лишь несколько тысяч лет назад это было совершенно не так. И это снова будет совершенно не так всего лишь через несколько тысяч лет...

Важно отметить, при всех колебаниях эксцентриситета земной орбиты, такой параметр как среднее (в течение одного годового оборота) расстояние от Земли до Солнца колебаний не испытывает (во всяком случае, не испытывает сколь-либо существенных колебаний). При всех «пульсациях» формы земной орбиты среднее расстояние от Земли до Солнца в отличие от максимального расстояния можно условно считать постоянным, а значит можно условно считать постоянным и отношение среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{3Cсред}$ к среднему диаметру Солнца $D_{Cсред}$:

$$\frac{L_{3Cсред}}{D_{Cсред}} = \frac{149\,598\,261 \text{ км}}{1\,391\,400 \text{ км}} = 107,516.$$

Забегая вперёд, заметим, что на самом деле среднее расстояние от Земли до Солнца испытывает очень медленное систематическое увеличение, о чём пойдёт речь в Главе IX, но сейчас важно отметить лишь то, что среднее расстояние от Земли до Солнца не испытывает каких-либо периодических колебаний (во всяком случае, существенных).

Сравним полученное отношение с отношением средних диаметров Солнца и Земли:

$$\frac{L_{3Cсред}}{D_{Cсред}} : \frac{D_{Cсред}}{D_{Зсред}} = 107,516 : 109,198 \approx 0,9846.$$

Ошибка совпадения двух полученных отношений, то есть, по существу, ошибка, с которой выполняется второе базовое совпадение при использовании в расчётах среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{3Cсред}$, составляет, таким образом, чуть больше 1,5%.

Конечно, полуторапроцентная ошибка совпадения двух сравниваемых отношений, может показаться довольно грубоватой, но всё познаётся в сравнении. Посмотрим, чему равны и как соотносятся между собой подобные отношения у других планет, и не повторяется ли у других планет ситуация, когда отношения сравниваемых отношений, как в случае Земли, близко к 1. Соответствующие данные для главных планет Солнечной системы приведены в Таблице 3.

В Таблице 3 приведены также данные по Плутону, который долгое время относили к числу главных планет, считая его наиболее далёкой девятой планетой. Но в самом конце XX и в начале XXI веков на дальних окраинах Солнечной системы было открыто сразу несколько подобных объектов. Наиболее крупные из них (Эрида, Хаумеа и Макемаке) по своим размерам оказались вполне сравнимы с Плутоном, а Эрида, почти не уступающая Плутону по размерам, даже несколько превосходит его по массе. После этих открытий Плутон перевели в 2006 году из разряда главных в карликовые планеты. То, что данные по Плутону приведены в Таблице 3 и во многих других таблицах в этой книге, это вовсе не дань памяти тому, что Плутон долгое время считался девятой «полноправной» планетой Солнечной системы. Дело в том, что у Плутона есть крупный планетоподобный спутник Харон, поэтому система Солнце-Плутон-Харон также представляет некоторый интерес в отношении поиска возможных аналогов базовых совпадений.

Вопрос о форме и размерах Земли и других планет подробно рассмотрен в Дополнении 11.

Таблица 3.

Отношения средних расстояний от планет до Солнца к среднему диаметру Солнца и отношения среднего диаметра Солнца к средним диаметрам планет

Планета	Среднее расстояние от планеты до Солнца (тыс. км)	Средний диаметр планеты (км)	Отношение среднего расстояния до Солнца к среднему диаметру Солнца*	Отношение среднего диаметра Солнца* к среднему диаметру планеты	«Отношение отношений» [4] : [5]
	$L_{ПлСред}$	$D_{Пл сред}$	$\frac{L_{ПлСред}}{D_{Сред}}$	$\frac{D_{Сред}}{D_{Пл сред}}$	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Меркурий	57,91	4 879,4	41,620	285,158	0,1460
Венера	108,21	12 103,6	77,771	114,958	0,6765
Земля	149,598261	12 742,0	107,516	109,198	0,9846
Марс	227,92	6 779,0	163,806	205,252	0,7981
Юпитер	778,57	139 822	559,559	9,951	56,2314
Сатурн	1 433,53	116 464	1 030,279	11,947	86,2375
Уран	2 872,46	50 724	2 064,439	27,431	75,2593
Нептун	4 495,06	49 244	3 230,602	28,255	114,3374
Плутон	5 906,38	2 376	4 244,919	585,606	7,2488

* - средний диаметр Солнца $D_{Сред}$ принят равным 1 391 400 км.

Наиболее близкий результат в отношении второго базового совпадения после нашей Земли демонстрирует Марс, у которого два сопоставляемых отношения различаются примерно на одну пятую (~20%). Далее идёт Венера, у которой различие этих отношений составляет уже почти одну треть (~32%). Что же касается других планет, то у них сопоставляемые отношения различаются в разы (Меркурий и Плутон), в десятки раз (Юпитер, Уран и Сатурн), а у Нептуна даже более, чем в сто раз. На таком фоне результат, демонстрируемый Землёй (с ошибкой совпадения всего лишь в 1,5%), представляется весьма и весьма «убедительным».

Более того, у Земли два раза в год сравниваемые отношения ($L_{ЗС}/D_{Сред}$) и ($D_{Сред}/D_{Зсред}$) бывают в точности равны друг другу. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

В настоящую эпоху расстояние от Земли до Солнца меняется в течение года от $L_{ЗСmin} = 147\,098\,290$ км (когда Земля в начале января находится в перигелии своей орбиты) до $L_{ЗСmax} = 152\,098\,232$ км (когда в начале июля она находится в афелии). А значит, отношение расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца ($L_{ЗС}/D_{Сред}$) меняется в течение года от

$$\frac{L_{ЗСmin}}{D_{Сред}} = \frac{147\,098\,290 \text{ км}}{1\,391\,400 \text{ км}} = 105,720 \text{ (в начале января)}$$

до

$$\frac{L_{ЗСmax}}{D_{Сред}} = \frac{152\,098\,232 \text{ км}}{1\,391\,400 \text{ км}} = 109,313 \text{ (в начале июля)}.$$

Отношение среднего диаметра Солнца к среднему диаметру Земли ($D_{Сред}/D_{Зсред}$) является постоянным и составляет 109,198. Это значение лежит внутри интервала ежегодных изменений отношения ($L_{ЗС}/D_{Сред}$) от 105,720 до 109,313. Из этого следует, что два раза в год текущее значение отношения ($L_{ЗС}/D_{Сред}$) бывает равно 109,198. Иными словами, дважды в год в определённые регулярно повторяющиеся моменты времени второе базовое совпадение выполняется с идеальной точностью!

Два момента идеального выполнения второго базового совпадения ежегодно приходятся в настоящую эпоху примерно на конец июня и на середину июля. Расстояние от Земли до Солнца в эти моменты составляет:

$$L_{ЗС} = D_{Сред} \times \frac{D_{Сред}}{D_{Зсред}} = 1\,391\,400 \text{ км} \times 109,198 = 151\,938\,097 \text{ км}.$$

Но ведь расстояние до Солнца меняется в течение одного орбитального оборота в довольно широких пределах и у других планет. А значит, при этом меняется и отношение текущего расстояния от планеты до Солнца к диаметру Солнца ($L_{ПлС}/D_{Сред}$). Так может и у других планет тоже бывают такие моменты, когда текущее быстро меняющееся отношение ($L_{ПлС}/D_{Сред}$) равно

постоянному отношению среднего диаметра Солнца к среднему диаметру соответствующей планеты ($D_{\text{Сред}}/D_{\text{Пл сред}}$)?

Задача сводится к тому, чтобы вначале рассчитать для каждой планеты, в каком интервале меняется в течение её «года» отношение текущего расстояния от планеты до Солнца к диаметру Солнца ($L_{\text{ПлС}}/D_{\text{Сред}}$). Результаты этих расчётов приведены в Таблице 4. А затем надо посмотреть попадают ли в эти интервалы значения отношения диаметра Солнца к диаметру каждой планеты ($D_{\text{Сред}}/D_{\text{Пл сред}}$), как это имеет место в случае Земли, где значение отношения ($D_{\text{Сред}}/D_{\text{Пл сред}} = 109,198$ попадает в интервал изменения отношения ($L_{\text{ПлС}}/D_{\text{Сред}}$) от 105,720 до 109,313. Характеристики орбиты Земли и других планет подробно рассмотрены в Дополнении 12.

Таблица 4.

Диапазоны изменения отношения расстояния от планет до Солнца к диаметру Солнца и значения отношений средних диаметров Солнца и планет

Планета	Расстояние от планеты до Солнца (млн км) $L_{\text{ПлС}}$		Отношение расстояния от планеты до Солнца к среднему диаметру Солнца* $\frac{L_{\text{ПлС}}}{D_{\text{Сред}}}$		Средний диаметр планеты (км) $D_{\text{Пл сред}}$	Отношение средних диаметров Солнца* и планеты $\frac{D_{\text{Сред}}}{D_{\text{Пл сред}}}$
	минимум (в перигелии)	максимум (в афелии)	минимум (в перигелии)	максимум (в афелии)		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
Меркурий	46,00	69,82	33,060	50,180	4 879,4	285,158
Венера	107,48	108,94	77,246	78,295	12 103,6	114,958
Земля	147,098290	152,098232	105,720	109,313	12 742,0	109,198
Марс	206,62	249,23	148,498	179,122	6 779,0	205,252
Юпитер	740,52	816,62	532,212	586,905	139 822	9,951
Сатурн	1 352,55	1 514,50	972,078	1 088,472	116 464	11,947
Уран	2 741,30	3 003,62	1 970,174	2 158,703	50 724	27,431
Нептун	4 444,45	4 545,67	3 194,229	3 266,976	49 244	28,255
Плутон	4 436,82	7 375,93	3 188,745	5 301,085	2 376	585,606

* - средний диаметр Солнца $D_{\text{Сред}}$ принят равным 1 391 400 км.

Как видно из Таблицы 4, постоянные значения отношения ($D_{\text{Сред}}/D_{\text{Пл сред}}$) у всех планет кроме нашей Земли находятся вне пределов диапазона «годовых» изменений отношения ($L_{\text{ПлС}}/D_{\text{Сред}}$) в течение орбитального оборота вокруг Солнца. Иными словами, второе базовое совпадение является совершенно уникальным и характерным только для нашей Земли.

Подводя итог всему вышесказанному, хочется подчеркнуть, что второе базовое совпадение будет выполняться как в случае, если использовать в расчётах среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСред}$, так и в случае, если использовать в расчётах максимальное расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСmax}$. В силу причин, которые обсуждались в этой главе, вариант с использованием среднего расстояния $L_{ЗСред}$ представляется более важным и более интересным, и именно в таком варианте второе базовое совпадение будет обсуждаться дальше. Вопрос же о возможном использовании в расчётах максимального расстояния от Земли до Солнца $L_{ЗСmax}$, был столь подробно рассмотрен здесь только потому, что в силу сложившейся традиции это совпадение широко известно именно в таком варианте.

Глава VI

САМЫЙ «СОЛНЕЧНЫЙ» МЕСЯЦ (третье базовое совпадение)

Третье базовое совпадение заключается в том, что *кажущийся (синодический) период осевого вращения Солнца равен реальному периоду обращения Луны вокруг Земли (сидерическому месяцу)*

$$t_{\text{синод}} = T_{\text{л}},$$

где: $t_{\text{синод}}$ – синодический период осевого вращения Солнца;

$T_{\text{л}}$ – период обращения Луны вокруг Земли (сидерический месяц).

Кажущийся (синодический) период осевого вращения Солнца $t_{\text{синод}}$ (то есть, период, за который земному наблюдателю кажется, что Солнце совершило ровно один оборот вокруг своей оси и повернулось той же самой стороной к сместившейся за это время по своей орбите Земле) составляет 27,2752 земных суток. А сидерический лунный месяц (то есть, период за который Луна совершает ровно один оборот вокруг Земли в системе координат, привязанной к мировому пространству) равен 27,321661 земным суткам. Ошибка совпадения двух сравниваемых величин, никак не связанных между собой по своему физическому смыслу, составляет всего лишь 0,17%:

$$\frac{T_{\text{л}}}{t_{\text{синод}}} = \frac{27,321661}{27,2752} = 1,0017.$$

Это, безусловно, удивительная точность. Разница между сопоставляемыми периодами составляет всего лишь чуть больше одного часа.

Но может быть что-то подобное отмечается не только в системе Солнце-Земля-Луна? Попытаемся найти аналоги третьего базового совпадения в других системах Солнце-планета-спутник. Для этого сравним синодические периоды осевого вращения Солнца при наблюдении с разных планет и периоды обращения спутников вокруг этих же планет. Требуемые данные для планетоподобных спутников приведены в Таблице 5. Посмотрим, нет ли для других планет и их спутников таких случаев, когда отношение этих периодов близко к 1, как в случае Земли и Луны.

Вопрос о кажущихся (синодических) периодах осевого вращения Солнца при наблюдении с различных планет был рассмотрен ранее в Дополнении 2.

Таблица 5.

Отношения сидерических периодов обращения планетоподобных спутников вокруг своих планет к синодическим периодам осевого вращения Солнца при наблюдении с их планет

Спутник	Сидерический период обращения спутника вокруг планеты (сутки) $T_{\text{Сп}}$	Отношение сидерического периода обращения спутника к синодическому периоду осевого вращения Солнца $\frac{T_{\text{Сп}}}{t_{\text{Синод(Пл)}}$	Спутник	Сидерический период обращения спутника вокруг планеты (сутки) $T_{\text{Сп}}$	Отношение сидерического периода обращения спутника к синодическому периоду осевого вращения Солнца $\frac{T_{\text{Сп}}}{t_{\text{Синод(Пл)}}$
[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]
Спутник Земли <i>Синодический период осевого вращения Солнца: 27,2752 суток</i>			Титан	15,945421	0,6268
Луна	27,321661	1,0017	Япет	79,330183	3,1183
Спутники Юпитера <i>Синодический период осевого вращения Солнца: 25,5296 суток</i>			Спутники Урана <i>Синодический период осевого вращения Солнца: 25,4010 суток</i>		
Ио	1,769138	0,0693	Миранда	1,413479	0,0556
Европа	3,551181	0,1391	Ариэль	2,520379	0,0992
Ганимед	7,154553	0,2802	Умбриэль	4,144176	0,1632
Каллисто	16,689017	0,6537	Титания	8,705867	0,3427
Спутники Сатурна <i>Синодический период осевого вращения Солнца: 25,4400 суток</i>			Оберон	13,463234	0,5300
Мимас	0,942422	0,0370	Спутник Нептуна <i>Синодический период осевого вращения Солнца: 25,3907 суток</i>		
Энцелад	1,370218	0,0539	Тритон	5,876854	0,2315
Тетис	1,887802	0,0742	Спутник карликовой планеты Плутон <i>Синодический период осевого вращения Солнца: 25,3871 суток</i>		
Диона	2,736915	0,1076	Харон	6,3872	0,2516
Рея	4,517500	0,1776			

Луна является одним из самых «медленных» планетоподобных спутников в Солнечной системе – она совершает один орбитальный оборот вокруг Земли за 27,321661 суток. Из планетоподобных спутников более длинный «месяц» только у Япета – он совершает один оборот вокруг Сатурна за 79,330183 земных суток.

А самый «быстрый» из всех планетоподобных спутников также находится в системе Сатурна – это «малыш» Мимас, который успевает совершить один оборот вокруг своей планеты всего лишь за 0,942422 земных суток. «Месяц» Мимаса, таким образом, длится всего 22 часа 37 минут. Заметим, что Мимас является таким «юрким» совсем не потому, что он самый маленький среди всех планетоподобных спутников. Продолжительность орбитального оборота любого спутника вообще никак не зависит от его размеров и массы, а определяется лишь массой центрального тела и расстоянием до него. Чем больше масса

планеты и чем ближе к ней располагается спутник, тем быстрее он совершает свой орбитальный оборот.

Как видно из Таблицы 5, ни один из планетоподобных спутников не демонстрирует ничего похожего на третье базовое совпадение. Самый «точный» результат после нашей Луны у спутника Юпитера Каллисто, период обращения которого вокруг своей планеты $T_{\text{Каллисто}} = 16,689017$ суток примерно в полтора раза меньше, чем синодический период осевого вращения Солнца при наблюдении с Юпитера $t_{\text{Синод(Юпитер)}} = 25,5269$ суток:

$$\frac{T_{\text{Каллисто}}}{t_{\text{Синод(Юпитер)}}} = \frac{16,689017}{25,5269} = 0,6537.$$

За Каллисто с «близким результатом» следует спутник Сатурна Титан, у которого соответствующие периоды (15,945421 и 25,4400 суток) отличаются лишь ненамного больше, а затем идёт спутник Урана Оберон, у которого соответствующие периоды (13,463234 и 25,4010 суток) отличаются почти в два раза. Что же касается всех остальных планетоподобных спутников, то у них сравниваемые периоды различаются уже в разы и в первые десятки раз. Наибольшее различие отмечается у спутника Сатурна Мимас (0,942422 и 25,4400 суток) – почти в тридцать раз.

Но может быть тогда аналоги третьего базового совпадения продемонстрируют какие-нибудь из многочисленных обломочных спутников? Напомним, что у главных планет Солнечной системы известно 187 таких спутников (по 75 – у Юпитера и Сатурна, 22 – у Урана, 13 – у Нептуна и ещё 2 – у Марса), так что вероятность, что среди всего этого многообразия найдётся что-нибудь «подходящее», кажется весьма большой.

С вопросом о том, в каких пределах может меняться продолжительность «месяца» у обломочных спутников, можно познакомиться в Дополнении 13. Напомним ещё раз, что данные о количестве известных спутников приведены в этой книге по состоянию на май 2020 года.

Самый точный результат среди обломочных спутников показывает спутник Сатурна Гиперион, один из крупнейших обломочных спутников в Солнечной системе. Период его обращения вокруг своей планеты $T_{\text{Гиперион}} = 21,276609$ суток примерно на одну шестую меньше, чем синодический период осевого вращения Солнца при наблюдении с Сатурна $t_{\text{Синод(Сатурн)}} = 25,4400$ суток:

$$\frac{T_{\text{Гиперион}}}{t_{\text{Синод(Сатурн)}}} = \frac{21,276609}{25,4400} = 0,8363.$$

Таким образом, ошибка совпадения двух сравниваемых величин составляет у Гипериона около 16%, что примерно в два раза точнее, чем у Каллисто (около 35%), но в то же время на два порядка грубее, чем у Луны (около 0,17%).

Говоря о возможных аналогах третьего базового совпадения, можно упомянуть и Никту – один из спутников карликовой планеты Плутон, представляющий собой небольшую ледяную глыбу неправильной формы размерами $48 \times 33 \times 30$ км. Период обращения Никты вокруг Плутона $T_{\text{Никта}}$ равен 24,85 земных суток, тогда как синодический

период осевого вращения Солнца для гипотетического наблюдателя на Плутоне $t_{\text{Синод(Плутон)}}$ составляет 25,3871 земных суток. Отношение этих двух периодов равно:

$$\frac{T_{\text{Никта}}}{t_{\text{Синод(Плутон)}}} = \frac{24,85}{25,3871} = 0,9788.$$

Ошибка совпадения двух сравниваемых величин у Никты составляет чуть больше 2,1%. Это хотя и на порядок точнее, чем у Гипериона (около 16%), но всё равно на порядок грубее, чем у Луны (около 0,17%).

Глава VII «КРАСИВОЕ» И «ИНТЕРЕСНОЕ» ЧИСЛО 100 (четвёртое базовое совпадение)

Четвёртое базовое совпадение сводится к тому, что *количество оборотов Земли вокруг своей оси (звёздных суток) в течение одного земного года (366) равно отношению диаметра Земли к диаметру Луны (3,66), умноженному на 100*

$$\frac{T_z}{t_{ззв}} = \frac{D_z}{D_l} \times 100,$$

где: T_z – период обращения Земли вокруг Солнца;

$t_{ззв}$ – звёздные сутки Земли;

D_z – диаметр Земли;

D_l – диаметр Луны.

Сопоставим между собой период обращения Земли вокруг Солнца $T_z = 365,25636$ суток (то есть, продолжительность земного года) и период оборота Земли вокруг своей оси $t_{ззв} = 0,99727$ суток = 23 часа 56 минут 04,1 секунды (то есть, продолжительность звёздных суток):

$$\frac{T_z}{t_{ззв}} = \frac{365,25636}{0,99727} = 366,25636.$$

Иными словами, один земной год включает 366,25636 звёздных суток, что по определению ровно на единицу больше, чем количество обычных (солнечных) суток в течение одного года (365,25636).

Вопрос о продолжительности солнечных и звёздных суток и их количестве течение одного земного года рассматривался ранее в Дополнении 3, а некоторые нюансы вопроса о продолжительности земного года обсуждаются в Дополнении 14.

Теперь сопоставим средний диаметр Земли $D_{зсред} = 12\,742,000$ км и средний диаметр Луны $D_{лсред} = 3\,474,80$ км:

$$\frac{D_{зсред}}{D_{лсред}} = \frac{12\,742,000 \text{ км}}{3\,474,80 \text{ км}} = 3,6669736.$$

Умножим полученное значение на 100:

$$3,6669736 \times 100 = 366,69736.$$

Эта величина (366,69736) совпадает с количеством звёздных суток в одном земном году (366,25636) с ошибкой 0,12%:

$$\frac{366,69736}{366,25636} = 1,0012.$$

Точность совпадения очень высокая, то есть, отношение физических размеров Земли и Луны действительно численно коррелирует с параметрами орбитального и осевого вращения Земли. Для двух величин, которые по своему физическому смыслу никак не связаны друг с другом, такое совпадение не может не впечатлять.

Казалось бы, четвёртое базовое совпадение успешно прошло проверку на точность, однако следует отметить, что количество звёздных суток в году ($T_3/t_{3зв}$) совпадает всё-таки не с самим отношением средних диаметров Земли и Луны ($D_{Зсред}/D_{Лсред}$) как таковым, а с отношением средних диаметров Земли и Луны, умноженным на сто ($D_{Зсред}/D_{Лсред}$) $\times 100$, то есть, умноженным на какой-то «переходный» коэффициент α :

$$\frac{T_3}{t_{3зв}} = \frac{D_{Зсред}}{D_{Лсред}} \times \alpha.$$

Однако, для любых двух совершенно произвольных чисел A и B всегда найдётся некий «переходный» коэффициент α (альфа), такой, что при умножении на него числа A мы с идеальной точностью получим число B :

$$A \times \alpha = B.$$

И для того, чтобы найти, чему равен этот коэффициент α , надо просто разделить число B на число A :

$$\alpha = B : A.$$

Условимся называть «переходный» коэффициент четвёртого базового совпадения и его аналоги для других систем Солнце-планета-спутник коэффициентом α (альфа). Иными словами, коэффициент α – это частное от деления количества звёздных «суток» в «году» планеты ($T_{Пл}/t_{Плзв}$) на отношение среднего диаметра планеты к среднему диаметру спутника ($D_{Пл\ сред}/D_{Сп\ сред}$). В случае системы Солнце-Земля-Луна:

$$\alpha = \frac{T_3}{t_{3зв}} : \frac{D_{Зсред}}{D_{Лсред}} = 366,25636 : 3,6669736 = 99,87973.$$

И всё же, хотя четвёртое базовое совпадение в системе Солнце-Земля-Луна реализуется не напрямую, а с помощью некоторого «переходного» коэффициента, в этом совпадении всё равно есть что-то удивительное. Ведь коэффициент $\alpha = 99,87973$ очень близок к «красивому» круглому числу 100, что, собственно, и производит на нас впечатление.

Попытаемся найти аналоги четвёртого базового совпадения в других системах Солнце-планета-спутник. Значения коэффициента α для всех планетоподобных спутников, приведённые в Таблице 6, были рассчитаны по формуле:

$$\alpha = \frac{T_{\text{Пл}}}{t_{\text{Пл зв}}} : \frac{D_{\text{Пл сред}}}{D_{\text{Сп сред}}},$$

где: $T_{\text{Пл}}$ – период обращения планеты вокруг Солнца;
 $t_{\text{Пл зв}}$ – звёздные «сутки» планеты;
 $D_{\text{Пл сред}}$ – средний диаметр планеты;
 $D_{\text{Сп сред}}$ – средний диаметр планетоподобного спутника.

Для расчёта значений коэффициента α надо вначале вычислить отношение периодов обращения планет вокруг Солнца к периодам обращения этих планет вокруг своих осей ($T_{\text{Пл}}/t_{\text{Пл зв}}$). Иными словами, надо для каждой из планет определить продолжительность её «года», выраженную в звёздных «сутках» этой же планеты. Вопрос об осевом вращении планет и количестве звёздных «суток» в их «годах» рассмотрен в Дополнении 15. Кроме того, необходимо рассчитать отношения средних диаметров планет к средним диаметрам их планетоподобных спутников ($D_{\text{Пл сред}}/D_{\text{Сп сред}}$). Вопрос о значениях отношений ($D_{\text{Пл сред}}/D_{\text{Сп сред}}$) рассмотрен в Дополнении 16.

Как видим, из всех планетоподобных спутников помимо нашей Луны значение коэффициента α приближается к круглому числу 100 только у спутника Сатурна Энцелад. Правда, если для Луны ошибка совпадения коэффициента α с числом 100 составляет всего лишь 0,12%, то в случае Энцелада она достигает почти 5%, то есть, на полтора порядка грубее. Так что, казалось бы, можно делать вывод, что четвёртое базовое совпадение, демонстрируемое нашей Луной, не имеет аналогов среди других планетоподобных спутников Солнечной системы.

Но что, собственно, вообще такого особенного в числе 100? В конце концов, это просто одно из бесконечного множества натуральных чисел, которое ничем не «лучше», чем любое другое число из этого ряда. Мы с вами обращаем особое внимание на число 100 главным образом потому, что пользуемся десятичной системой счисления, в которой это число выглядит «красивым» и круглым. А значит, если бы мы были не пятипальными, а, например, четырёхпальными и пользовались восьмеричной системой счисления, то это число записывалось бы как 144. А если бы мы были шестипальными и пользовались двенадцатеричной системой, то это же число сто записывалось бы как 84. Так что, в этих двух и во многих других случаях число сто уже не выглядит таким «красивым», как в десятичной системе.

И, тем не менее, число 100 – особенное число, и можно не сомневаться, что на него обратили бы внимание любые разумные существа, какой бы системой счисления они ни пользовались. Ведь число 100 является квадратом другого натурального числа ($10^2 = 100$), и одно это отличает его от многих других чисел. Любой, кто любит заниматься вычислениями, всегда обращает внимание на «квадратные» числа, где бы они ни встретились. Так что, хотя в других системах счисления число сто уже и не выглядит таким «красивым» как в десятичной, но «интересным» оно будет оставаться в любой системе счисления.

Таблица 6.

Значения коэффициента α для планетоподобных спутников

Спутник	Отношение среднего диаметра планеты к среднему диаметру спутника	Коэффициент α^*	Спутник	Отношение среднего диаметра планеты к среднему диаметру спутника	Коэффициент α^*
[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]
Спутник Земли (продолжительность года Земли - 366,25636 звёздных суток)			Спутники Урана (продолжительность «года» Урана - 42 720 звёздных «суток» Урана)		
Луна	3,6669736	99,88	Миранда	107,55725	397,18
Спутники Юпитера (продолжительность «года» Юпитера - 10 476,78 звёздных «суток» Юпитера)			Ариэль	43,810675	975,10
Ио	38,381005	272,97	Умбриэль	43,376090	984,87
Европа	44,791773	233,90	Титания	32,148561	1328,83
Ганимед	26,570006	394,31	Оберон	33,309693	1282,51
Каллисто	29,005103	361,20	Спутник Нептуна (продолжительность «года» Нептуна - 89 660 звёздных «суток» Нептуна)		
Спутники Сатурна (продолжительность «года» Сатурна - 24 232,5 звёздных «суток» Сатурна)			Тритон	18,192700	4928,35
Мимас	293,80424	82,48	Спутник карликовой планеты Плутон (продолжительность «года» Плутона - 14 178,4 звёздных «суток» Плутона)		
Энцелад	230,98770	104,91	Харон	1,960396	7232,42
Тефия	109,64413	221,01			
Диона	103,72640	233,62			
Рея	76,26981	317,72			

* - коэффициенты α округлены до второго знака после запятой.

Конечно, понятия «красивое» и «интересное» применительно к числам являются весьма субъективными, но, тем не менее, любые числа, являющиеся квадратами натуральных чисел (или же их кубами и ещё более высокими целочисленными степенями) так или иначе окажутся выделенными в сознании разумных существ. И число 100 – это далеко не единственное «интересное» число в ряду натуральных чисел, на которое можно обратить повышенное внимание.

Проверим, нет ли среди коэффициентов α для других планетоподобных спутников ещё каких-нибудь «интересных» в вышеуказанном смысле чисел. Абсолютно точных совпадений нет. Да и у нашей Луны коэффициент

$\alpha = 99,88$ совпадает с «интересным» числом $100 = 10^2$ с ошибкой 0,12%. Если ограничить отбор «интересных» чисел ошибкой совпадения не более 0,25%, то помимо Луны в наши сети попадутся спутник Юпитера Каллисто, спутник Плутона Харон и спутник Урана Титания.

Для Каллисто коэффициент $\alpha = 361,20$ с ошибкой 0,06% совпадает с «интересным» числом $361 = 19^2$. Для Харона коэффициент $\alpha = 7\,232,42$ с ошибкой 0,10% совпадает с «интересным» числом $7\,225 = 85^2$. И, наконец, для Титании коэффициент $\alpha = 1\,328,83$ с ошибкой 0,16% совпадает с «интересным» числом $1331 = 11^3$ – единственным «кубическим» числом, попавшимся в наши сети.

Производят ли эти три примера хоть какое-то впечатление? В общем-то, нет, как, впрочем, не особенно впечатлял бы и пример с Луной ($\alpha \approx 10^2$), если бы четвёртое базовое совпадение было бы единственным необычным совпадением, которое демонстрирует наша Луна. Однако в том-то и дело, что для Луны это совпадение далеко не единственное.

Глава VIII И СНОВА ЭТО ЖЕ ЧИСЛО 100... (пятое базовое совпадение)

Пятое базовое совпадение состоит в том, что *количество солнечных суток Земли в течение одного лунного месяца (27,3) равно отношению диаметра Луны к диаметру Земли (0,273), умноженному на 100*

$$\frac{T_{\text{л}}}{t_{\text{сол}}} = \frac{D_{\text{л}}}{D_{\text{з}}} \times 100,$$

где: $T_{\text{л}}$ – период обращения Луны вокруг Земли (сидерический месяц);
 $t_{\text{сол}}$ – солнечные сутки Земли;
 $D_{\text{л}}$ – диаметр Луны;
 $D_{\text{з}}$ – диаметр Земли.

Сопоставим между собой период обращения Луны вокруг Земли $T_{\text{л}} = 27,321661$ суток (то есть, продолжительность сидерического месяца) и период смены дня и ночи на Земле $t_{\text{сол}} = 1,00000$ сутки = 24 часа 00 минут 00,0 секунды (то есть, продолжительность солнечных суток):

$$\frac{T_{\text{л}}}{t_{\text{сол}}} = \frac{27,321661}{1,00000} = 27,321661.$$

Теперь сопоставим средний диаметр Луны $D_{\text{лсред}} = 3\,474,80$ км и средний диаметр Земли $D_{\text{зсред}} = 12\,742,000$ км:

$$\frac{D_{\text{лсред}}}{D_{\text{зсред}}} = \frac{3\,474,80 \text{ км}}{12\,742,000 \text{ км}} = 0,27270444.$$

Умножим полученное значение на 100:

$$0,27270444 \times 100 = 27,270444.$$

Эта величина (27,270444) совпадает с количеством солнечных суток в одном сидерическом лунном месяце (27,321661) с ошибкой 0,19%:

$$\frac{27,270444}{27,321661} = 0,9981.$$

Точность, хотя и несколько грубее, чем в случае четвертого базового совпадения (там было 0,12%), но тоже весьма и весьма высокая. Говоря о пятом базовом совпадении, мы можем слово в слово повторить то, что уже было сказано в предыдущей главе о четвертом базовом совпадении: «Для двух

величин, которые по своему физическому смыслу никак не связаны друг с другом, такое совпадение не может не впечатлять».

Но и в пятом базовом совпадении речь опять-таки идёт о том, что выраженная в солнечных сутках продолжительность сидерического лунного месяца ($T_{л}/t_{сол}$) совпадает не с самим отношением средних диаметров Луны и Земли ($D_{л\text{сред}}/D_{з\text{сред}}$) как таковым, а с отношением средних диаметров Луны и Земли, умноженным на сто ($(D_{л\text{сред}}/D_{з\text{сред}}) \times 100$). То есть, опять-таки умноженным на какой-то «переходный» коэффициент, который, правда, и в этом случае тоже равен 100, или если быть более точным, равен:

$$\beta = \frac{T_{л}}{t_{сол}} : \frac{D_{л\text{сред}}}{D_{з\text{сред}}} = 27,321661 : 0,27270444 = 100,18781.$$

Условимся называть «переходный» коэффициент пятого базового совпадения и его аналоги для других систем Солнце-планета-спутник коэффициентом β (бета). И хотя пятое базовое совпадение (как и четвёртое) опять-таки реализуется не напрямую, а с помощью какого-то «переходного» коэффициента, в нём точно так же, как и в четвёртом базовом совпадении есть что-то удивительное – а именно то, что коэффициент β (100,18781) очень близок к тому же самому «красивому» и круглому числу 100.

Четвёртое и пятое базовые совпадения, хотя и являются независимыми (то есть, ни одно из них не вытекает из другого), но в каком-то смысле они связаны друг с другом. Так, в четвёртом базовом совпадении количество звёздных суток в течение земного года ($T_{з}/t_{зв}$) сравнивается с отношением среднего диаметра Земли к среднему диаметру Луны ($D_{з\text{сред}}/D_{л\text{сред}} = 3,6669736$), а в пятом базовом совпадении количество солнечных суток в течение лунного месяца ($T_{л}/t_{сол}$) сравнивается с обратной величиной, то есть с отношением среднего диаметра Луны к среднему диаметру Земли ($D_{л\text{сред}}/D_{з\text{сред}} = 1:3,6669736 = 0,27270444$). Однако никаких причинно-следственных связей как таковых между этими двумя совпадениями нет.

Попробуем найти аналоги пятого базового совпадения в других системах Солнце-планета-спутник. Значения коэффициента β для всех планетоподобных спутников, приведённые в Таблице 7, были рассчитаны по формуле:

$$\beta = \frac{T_{сп}}{t_{пл\text{ сол}}} : \frac{D_{сп\text{ сред}}}{D_{пл\text{ сред}}},$$

где: $T_{сп}$ – период обращения спутника вокруг планеты;

$t_{пл\text{ сол}}$ – солнечные «сутки» планеты;

$D_{сп\text{ сред}}$ – средний диаметр спутника;

$D_{пл\text{ сред}}$ – средний диаметр планеты.

Для расчёта значений коэффициента β надо вначале найти значения отношений периодов обращения спутников вокруг планет к продолжительности периодов смены дня и ночи на этих планетах ($T_{сп}/t_{пл\text{ сол}}$). Иными словами, надо для каждого из спутников определить продолжительность их «месяцев», выраженную в солнечных «сутках» их планет. Вопрос о продолжительности солнечных «суток» на других планетах рассмотрен в

Дополнении 17, а расчёты продолжительности «месяцев» спутников в солнечных «сутках» своих планет приведены в Дополнении 18.

Кроме того, надо найти значения отношений средних диаметров планетоподобных спутников к средним диаметрам их планет ($D_{\text{Сп сред}}/D_{\text{Пл сред}}$). Вопрос о значениях отношений $D_{\text{Сп сред}}/D_{\text{Пл сред}}$ был ранее рассмотрен в Дополнении 16.

Таблица 7.

Значения коэффициента β для планетоподобных спутников

Спутник	Период обращения спутника вокруг планеты (в солнечных «сутках» планеты)	Отношение среднего диаметра спутника к среднему диаметру планеты	Коэффициент β^* [2]:[3]
	$\frac{T_{\text{Сп}}}{t_{\text{Пл сол}}}$	$\frac{D_{\text{Сп сред}}}{D_{\text{Пл сред}}}$	$\frac{T_{\text{Сп}}}{t_{\text{Пл сол}}} \cdot \frac{D_{\text{Сп сред}}}{D_{\text{Пл сред}}}$
[1]	[2]	[3]	[4]
Спутник Земли			
Луна	27,321661	0,27270444	100,19
Спутники Юпитера			
Ио	4,2776	0,02605456	164,18
Европа	8,5864	0,02232553	384,60
Ганимед	17,2990	0,03763642	459,63
Каллисто	40,3526	0,03447669	1 170,43
Спутники Сатурна			
Мимас	2,123	0,00340363	623,75
Энцелад	3,086	0,00432923	712,83
Тефия	4,252	0,00912041	466,21
Диона	6,164	0,00964075	639,37
Рея	10,175	0,01311135	776,05
Титан	35,913	0,04421967	812,15
Япет	178,672	0,01260991	14 169,17
Спутники Урана			
Миранда	1,968	0,00929737	211,67
Ариэль	3,509	0,02282549	153,73
Умбриэль	5,769	0,02305418	250,24
Титания	12,120	0,03110559	389,64
Оберон	18,743	0,03002129	624,32
Спутник Нептуна			
Тритон	8,754	0,05496710	159,26

Спутник	Период обращения спутника вокруг планеты (в солнечных «сутках» планеты) $\frac{T_{\text{Сп}}}{t_{\text{Пл сол}}}$	Отношение среднего диаметра спутника к среднему диаметру планеты $\frac{D_{\text{Сп сред}}}{D_{\text{Пл сред}}}$	Коэффициент β^* [2]:[3] $\frac{T_{\text{Сп}}}{t_{\text{Пл сол}}} : \frac{D_{\text{Сп сред}}}{D_{\text{Пл сред}}}$
[1]	[2]	[3]	[4]
Спутник карликовой планеты Плутон			
Харон	1,00007**	0,5101010	1,96

* - коэффициенты β округлены до второго знака после запятой.

** - система Плутон-Харон является полностью синхронизированной, в результате чего Харон совершает один оборот по орбите вокруг Плутона точно за такое же время (6,3872 земных суток), за которое Плутон совершает один оборот вокруг своей оси (то есть, ровно за одни звёздные «сутки», которые на Плуtone примерно на 40 секунд длиннее, чем солнечные «сутки»).

Как видим, значение коэффициента β близко к круглому числу 100 только у Луны. Но может быть у каких-либо планетоподобных спутников значение коэффициента β близко к другим «интересным» числам? Напомню, что в предыдущей главе мы договорились условно относить к «интересным» любые натуральные числа, которые являются квадратами других натуральных чисел или же их кубами и ещё более высокими целочисленными степенями.

Если опять-таки, как и в случае четвёртого базового совпадения, ограничить отбор «интересных» чисел ошибкой совпадения не более 0,25%, то помимо Луны в поле нашего внимания окажутся спутники Сатурна Мимас и Япет, а также спутник Урана Оберон.

Для Луны, как уже говорилось выше, коэффициент $\beta = 100,19$ совпадает с «интересным» числом $100 = 10^2$ с ошибкой 0,19%. Для Мимаса коэффициент $\beta = 623,75$ совпадает с «интересным» числом $625 = 25^2$ с ошибкой 0,23%. Для Оберона коэффициент $\beta = 624,32$ совпадает с тем же «интересным» числом $625 = 25^2$ с ошибкой 0,11%. И, наконец, для Япета коэффициент $\beta = 14\,169,17$ совпадает с «интересным» числом $14\,161 = 119^2$ с ошибкой 0,06%.

Подведём некоторые общие итоги по поискам аналогов четвёртого и пятого базовых совпадений, предпринятым с помощью вычисления коэффициентов α и β , соответственно. В результате наших поисков оказались выделены семь спутников. В случае коэффициента α – это Каллисто ($\approx 19^2$), Харон ($\approx 85^2$), Титания ($\approx 11^3$) и Луна ($\approx 10^2$), а в случае коэффициента β – Мимас ($\approx 25^2$), Оберон ($\approx 25^2$), Япет ($\approx 119^2$) и ещё раз наша Луна ($\approx 10^2$). Как видим, ни в одном случае кроме Луны не было такого, чтобы «сработали» оба коэффициента α и β – либо только коэффициент α (Каллисто, Титания и

Харон), либо только коэффициент β (Мимас, Япет и Оберон). И только Луна фигурирует в обоих списках.

Более того, коэффициент $\alpha = 99,87973$ и коэффициент $\beta = 100,18781$, которые по своему физическому смыслу никак не связаны друг с другом, оказались ещё и очень близки между собой. Ошибка совпадения коэффициентов α и β между собой составляет у Луны всего лишь около 0,3%.

Что касается всех остальных планетоподобных спутников, то значения коэффициентов α и β оказались наиболее близкими между собой у Ганимеда ($\alpha = 394,31$; $\beta = 459,63$), при этом различие коэффициентов α и β между собой составляет у Ганимеда порядка 15%. У всех остальных спутников это различие ещё больше – в большинстве случаев коэффициенты α и β различаются в разы или даже в десятки раз, а в случае Харона эти коэффициенты ($\alpha = 7232,42$; $\beta = 1,96$) различаются более чем в три с половиной тысячи раз.

Возможно, все эти рассуждения о каких-то непонятных коэффициентах α и β , а тем более о так называемых «красивых» и «интересных» числах покажутся читателю совершенно неубедительными. Но всё, что хотел сказать автор – это то, что соотношения численных параметров системы Земля-Солнце-Луна, которые в настоящей книге названы четвёртым и пятым базовыми совпадениями, выглядят очень необычно и не имеют аналогов в Солнечной системе. Иными словами, Луна совершенно уникальна как в отношении четвёртого, так и в отношении пятого базовых совпадений.

Что же касается приведённых примеров с Каллисто, Титанией, Хароном, Мимасом, Япетом и Обероном, то это была лишь попытка найти хоть какие-то, пускай, даже самые надуманные аргументы против утверждения об уникальности численных совпадений, связанных с Луной. И на наш взгляд, никаких таких аргументов найти не удалось.

Глава IX СВЕРИМ ЧАСЫ (постановка второй проблемы)

В предыдущих главах мы могли убедиться, что пять удивительных численных совпадений параметров системы Солнце-Земля-Луна, называемых в этой книге базовыми, имеют, в целом, весьма высокую точность.

Так, ошибки, с которыми выполняются третье, четвёртое и пятое базовые совпадения, составляют, соответственно, всего лишь 0,17%, 0,12% и 0,19%. Что же касается первого и второго базовых совпадений, то ошибки, с которыми в среднем выполняются эти совпадения, примерно на порядок грубее и составляют, соответственно, 2,8% и 1,5%. Но это в среднем, то есть, эти цифры получаются если для оценки точности первого и второго базовых совпадений использовать именно средние значения расстояния от Земли до Солнца $L_{ЗСред}$ и расстояния от Земли до Луны $L_{ЗЛсред}$. Однако, как расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗС}$ в течение земного года, так и расстояние от Земли до Луны $L_{ЗЛ}$ в течение лунного месяца меняются в весьма широких пределах. Поэтому, как было показано в Главах III и V, регулярно имеют место такие моменты времени, когда эти два совпадения выполняются абсолютно точно: первое базовое совпадение – два раза в месяц, а второе – два раза в год.

Вместе с тем, как известно, многие астрономические параметры с течением времени испытывают не только периодические колебательные, но и долгосрочные однонаправленные изменения. Так, например, Земля с течением геологического времени удаляется от Солнца, а Луна – от Земли.

Иными словами, происходит систематическое увеличение среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{ЗСред}$ и среднего расстояния от Земли до Луны $L_{ЗЛсред}$. А из этого следует, что с течением времени должны меняться и некоторые другие зависимые параметры, в частности, период обращения Земли вокруг Солнца $T_з$ и период обращения Луны вокруг Земли $T_л$. Изменение периода обращения Земли вокруг Солнца $T_з$ ведёт, в свою очередь, и к изменению синодического (кажущегося) периода осевого вращения Солнца $t_{Синод}$.

Что касается осевого вращения Земли, то оно испытывает долгосрочное однонаправленное общее замедление.

Общее замедление осевого вращения Земли выражается в систематическом увеличении продолжительности солнечных суток $t_{сол}$ и звёздных суток $t_{зв}$ с течением геологического времени. Подчеркнём ещё раз, что речь здесь и далее идёт не о короткопериодических или даже долгопериодических колебаниях всех выше названных параметров, а об их постоянных однонаправленных изменениях, происходящих в течение длительных интервалов геологической истории.

Из вышесказанного следует, что точность всех базовых совпадений со временем меняется, ведь в каждом из этих пяти совпадений «задействованы» те или иные меняющиеся со временем параметры. Это довольно интересная

проблема, и для оценки того, как менялась в прошлом и как будет меняться в будущем точность каждого из пяти базовых совпадений, надо прежде всего количественно оценить, как изменяются со временем сами «задействованные» в этих совпадениях параметры.

Что касается среднего диаметра Солнца $D_{\text{Сред}}$, среднего диаметра Земли $D_{\text{Зерд}}$ и среднего диаметра Луны $D_{\text{Лерд}}$, которые также «задействованы» в рассматриваемых базовых совпадениях, то при решении наших задач их можно считать постоянными. Возможные однонаправленные изменения размеров Солнца, Земли и Луны, если и происходят, то являются столь малыми, что в рамках проблем, рассматриваемых в настоящей работе, ими можно полностью пренебречь. То же самое относится и к возможным изменениям массы этих тел. Вопросы о возможных незначительных изменениях размеров и массы Солнца, Земли и Луны обсуждаются в Дополнениях 19 и 20, соответственно.

Эта глава посвящена оценке однонаправленных изменений ряда параметров системы Солнце-Земля-Луна с течением геологического времени, первопричинами которых является удаление Земли от Солнца, удаление Луны от Земли и замедление осевого вращения Земли, темпы которых достаточно надёжно определены для современной эпохи. Экстраполировав нынешние темпы этих изменений на большие интервалы времени, мы можем получить оценки изменения различных параметров для далёкого прошлого и далёкого будущего. Конечно, эти оценки пока могут носить только самый ориентировочный характер, впрочем, другого пока не дано, и в любом случае, лучше иметь хоть какие-нибудь, пускай даже самые примерные оценки, чем не иметь их вообще.

Среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{\text{ЗСред}}$ систематически увеличивается на 15 сантиметров в год. Эту общепризнанную в настоящее время оценку получили в 2004 году российские астрономы Георгий Красинский и Виктор Брумберг.

В вопросе о причинах удаления Земли до Солнца пока нет полного единодушия, но согласно наиболее распространённой точке зрения главной причиной являются приливные взаимодействия между Землёй и Солнцем. Заметим, что однонаправленное увеличение среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{\text{ЗСред}}$ не имеет отношения к своеобразным «пульсациям» формы земной орбиты, о которых говорилось ранее в Главе V.

Принимая в качестве постулата, что среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{\text{ЗСред}t}$ систематически увеличивается на 15 см/год, мы можем оценить и сопряжённые однонаправленные изменения некоторых других параметров. Наиболее интересуют нас изменения периода обращения Земли вокруг Солнца T_z и изменения синодического (кажущегося с точки зрения земного наблюдателя) периода осевого вращения Солнца $t_{\text{Синод}t}$.

Правда, здесь придётся пойти на одно существенное допущение. Оценка систематического увеличения среднего расстояния от Земли до Солнца относится, вообще говоря, к нынешней эпохе, и мы на самом деле не знаем, с какой скоростью оно менялось в далёком прошлом и будет меняться в далёком будущем. Общепринятой модели изменения

среднего расстояния от Земли до Солнца с течением геологического времени пока не существует, поэтому придётся опираться на оценку, сделанную для нынешней эпохи (15 см/год), и экстраполировать её на большие интервалы времени как в прошлое, так и в будущее.

Допустим, что на протяжении последнего полумиллиарда лет среднее расстояние от Земли до Солнца систематически увеличивалось, как и сейчас, на 15 сантиметров в год (то есть, на 150 километров за миллион лет или на 15 тысяч километров за сто миллионов лет). Допустим также, что оно будет увеличиваться в том же темпе и в течение ближайшего полумиллиарда лет. Результаты расчётов модельного среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$, модельного периода обращения Земли вокруг Солнца $T_{Зt}$ и модельного синодического (кажущегося) периода осевого вращения Солнца $t_{Синодt}$ на полмиллиарда лет в прошлое и на полмиллиарда лет в будущее с шагом в сто миллионов лет приведены в Таблице 8. Пояснения, как были выполнены эти расчёты, приведены в Дополнении 21.

Таблица 8.

Модельные значения среднего расстояния от Земли до Солнца, периода обращения Земли вокруг Солнца и синодического (кажущегося) периода осевого вращения Солнца для различных моментов геологического времени

Время t	Среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$ (тыс. км)	Период обращения Земли вокруг Солнца $T_{Зt}$	Синодический (кажущийся) период осевого вращения Солнца $t_{Синодt}$
		(в современных сутках)	
[1]	[2]	[3]	[4]
500 млн лет назад	149 523	364,98190	27,2768
400 млн лет назад	149 538	365,03668	27,2765
300 млн лет назад	149 553	365,09146	27,2762
200 млн лет назад	149 568	365,14624	27,2758
100 млн лет назад	149 583	365,20157	27,2755
настоящее время	149 598	365,25636	27,2752
через 100 млн лет	149 613	365,31115	27,2749
через 200 млн лет	149 628	365,36649	27,2746
через 300 млн лет	149 643	365,42128	27,2743
через 400 млн лет	149 658	365,47608	27,2740
через 500 млн лет	149 673	365,53088	27,2737

Как видим, все три модельных параметра, приведённые в Таблице 8, (среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$, период обращения Земли вокруг Солнца $T_{Зt}$ и синодический период осевого вращения Солнца $t_{Синодt}$) меняются с течением геологического времени очень медленно.

Так, за последние полмиллиарда лет значения этих параметров изменились лишь на сотые или даже тысячные доли процента. Среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$ увеличилось за это время на 0,050% (на 75 тысяч км), продолжительность земного года $T_{Зt}$

увеличилась на 0,075% (примерно на шесть с половиной часов), а синодический период осевого вращения Солнца $t_{\text{Синод}}$ за это время уменьшился, правда, всего лишь на 0,006% (то есть, меньше, чем на две с половиной минуты).

Ещё раз напомним, что в Таблице 8 приведены лишь модельные цифры, которые основаны на допущении, что все эти полмиллиарда лет среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{\text{ЗСредт}}$ равномерно увеличивалось со скоростью 150 километров за миллион лет, а сидерический (реальный) период вращения Солнца $t_{\text{с}}$ оставался неизменным (25,3800 современных земных суток). И на допущении, что такая же ситуация будет иметь место и в ближайшие полмиллиарда лет тоже. Оценки, полученные на основе таких допущений, конечно же могут пока носить только самый предварительный характер, однако для начала достаточно и этого.

Мы не знаем достоверно и возможно ещё долго не узнаем, как именно менялись в геологическом прошлом и будут меняться в будущем среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{\text{ЗСредт}}$ и связанные с ним параметры – период обращения Земли вокруг Солнца $T_{\text{з}}$ и синодический период осевого вращения Солнца $t_{\text{Синод}}$. Но думается, что в любом случае эти изменения были и будут очень медленными, близкими по порядку величины к приведённым выше оценкам.

Среднее расстояние от Земли до Луны $L_{\text{ЗЛСредт}}$ систематически увеличивается на 3,8 сантиметра в год. Эта общепринятая в настоящее время оценка была получена в результате сверхточных лазерных измерений расстояния до Луны, выполненных с использованием уголкового отражателя, доставленного на лунную поверхность американскими астронавтами и советскими автоматическими станциями. Систематическое удаление Луны от Земли вызвано приливными взаимодействиями между этими телами, и это не вызывает у учёных никаких сомнений.

Увеличение среднего расстояния от Земли до Луны $L_{\text{ЗЛСредт}}$ неизбежно ведёт и к увеличению периода обращения Луны вокруг Земли, то есть, к увеличению продолжительности сидерического месяца $T_{\text{л}}$.

Если современные темпы удаления Луны от Земли (3,8 см/год) экстраполировать на большие интервалы времени, то получается, что Луна должна удаляться от Земли на 38 километров за миллион лет (или на 3,8 тысячи километров за сто миллионов лет). Результаты расчётов модельных значений среднего расстояния от Земли до Луны $L_{\text{ЗЛСредт}}$ и периода обращения Луны вокруг Земли $T_{\text{л}}$ на полмиллиарда лет в прошлое и на полмиллиарда лет в будущее с шагом в сто миллионов лет приведены в Таблице 9. Пояснения, как были выполнены эти расчёты, приведены в Дополнении 22.

Таблица 9.

Модельные значения среднего расстояния от Земли до Луны и периода обращения Луны вокруг Земли (сидерического месяца) для различных моментов геологического времени

Время	Среднее расстояние от Земли до Луны	Период обращения Луны вокруг Земли
t	$L_{ЗЛсредt}$ (тыс. км)	$T_{Лt}$ (в современных сутках)
[1]	[2]	[3]
500 млн лет назад	365,4	25,321220
400 млн лет назад	369,2	25,717258
300 млн лет назад	373,0	26,115300
200 млн лет назад	376,8	26,515414
100 млн лет назад	380,6	26,917511
настоящее время	384,4	27,321661

Время	Среднее расстояние от Земли до Луны	Период обращения Луны вокруг Земли
t	$L_{ЗЛсредt}$ (тыс. км)	$T_{Лt}$ (в современных сутках)
[1]	[2]	[3]
через 100 млн лет	388,2	27,727814
через 200 млн лет	392,0	28,135918
через 300 млн лет	395,8	28,546046
через 400 млн лет	399,6	28,958106
через 500 млн лет	403,4	29,372172

Оба модельных параметра, приведённых в Таблице 9, (среднее расстояние от Земли до Луны $L_{ЗЛсредt}$ и период обращения Луны вокруг Земли $T_{Лt}$) меняются по меркам геологического времени довольно быстро.

Так, за последние полмиллиарда лет среднее расстояние от Земли до Луны $L_{ЗЛсредt}$ увеличилось примерно на 5% (на 19 тысяч км), а продолжительность сидерического месяца $T_{Лt}$ – почти на 8% (на двое суток). Как видим, значения каждого из этих параметров выросли на несколько процентов, тогда как аналогичные параметры для Земли (среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСсредt}$ и продолжительность земного года $T_{Зt}$) увеличились за это же время лишь на сотые доли процента.

Конечно же, в Таблице 9 приведены опять-таки лишь модельные цифры, основанные на допущении, что все эти полмиллиарда лет среднее расстояние от Земли до Луны $L_{ЗЛсредt}$ равномерно увеличивалось со скоростью 38 километров за миллион лет. И хотя опять-таки мы не знаем достоверно, как именно менялись среднее расстояние от Земли до Луны $L_{ЗЛсредt}$ и период обращения Луны вокруг Земли $T_{Лt}$, но, думается, что по порядку величины эти изменения были близки к полученным оценкам.

Основные дискуссии, связанные с оценками скорости удаления Луны от Земли касаются вопросов о том, как менялась эта скорость в геологическом прошлом и как она будет меняться в будущем, и надо сказать, что приводимые в литературе расчётные модели зачастую существенно противоречат друг другу. Это и неудивительно, ведь силы приливных взаимодействий между Землёй и Луной зависят от многих факторов, которые пока что ещё далеко не всегда могут быть строго учтены.

В частности, для расчёта движения приливной волны в Мировом океане в разные геологические эпохи необходимо знать, хотя бы в самых общих чертах, взаимное расположение континентов и форму чаши Мирового океана в соответствующие эпохи. В

научной литературе можно встретить даже расчётные модели, основанные на устаревшем представлении, что глубоководные океаны существуют на нашей планете только последние 50-100 миллионов лет. Такой подход приводит к заниженной оценке силы приливных взаимодействий на более ранних этапах геологической истории, а из этого делается вывод, что в далёком прошлом удаление Луны от Земли происходило гораздо медленнее, чем сейчас, и только в последние 50-100 миллионов лет скорость этого удаления выросла до нескольких сантиметров в год. Такие оценки, однако, являются ошибочными, так как с точки зрения современной геологии глубоководные океаны существуют на нашей планете на протяжении большей части её истории, а значит, всё это время силы приливных взаимодействий и темпы удаления Луны от Земли были по порядку величины примерно такими же, как и в современную эпоху. При этом следует оговориться, что темпы удаления Луны, конечно же, не были совершенно одинаковыми в течение геологического времени, хотя бы уже только потому, что взаимное расположение континентов на Земле всё время менялось. А это самым непосредственным образом влияло на характер движения приливной волны в Мировом океане, что, в свою очередь, должно было приводить к изменениям результирующих эффектов от приливных взаимодействий между Землёй и Луной.

Благодаря приливному взаимодействию в системе Земля-Луна происходит не только удаление Луны от нашей планеты, но и замедление осевого вращения Земли, выражающееся в систематическом увеличении продолжительности солнечных суток $t_{\text{солт}}$ и звёздных суток $t_{\text{звт}}$. Согласно наиболее широко принятой оценке темпы увеличения продолжительности солнечных суток $t_{\text{солт}}$ составляют 1,7 миллисекунды за столетие, и именно эта оценка использована для расчётов в настоящей книге.

Следует заметить, что на общее замедление осевого вращения Земли накладываются многочисленные колебания скорости её вращения как сезонного, так и более длительного характера, но в долгосрочном плане систематическое увеличение продолжительности солнечных суток $t_{\text{солт}}$ является достоверно установленным фактом. Подробнее о причинах приливного торможения, а также о способах оценки его темпов, ранее уже говорилось в Дополнении 4.

Как уже было отмечено выше, мы пока не знаем, как в далёком геологическом прошлом менялись характер и интенсивность приливных взаимодействий в системе Земля-Луна, и соответственно не имеем достоверных моделей, как именно со временем увеличивалось среднее расстояние от Земли до Луны $L_{\text{Злсредт}}$. Это же относится и к тому, как с течением геологического времени увеличивалась продолжительность солнечных суток $t_{\text{солт}}$. В этой ситуации для получения самых первых чисто ориентировочных оценок представляется наиболее правильным условно принять нынешнюю скорость увеличения продолжительности солнечных суток $t_{\text{солт}}$ (1,7 миллисекунды за столетие) в качестве постоянной для больших интервалов времени, охватывающих сотни миллионов лет в прошлом и в будущем.

Результаты расчётов модельной продолжительности солнечных $t_{\text{солт}}$ и звёздных $t_{\text{звт}}$ суток на нашей планете на полмиллиарда лет в прошлое и на полмиллиарда лет в будущее с шагом в сто миллионов лет приведены в Таблице 10. Пояснения, как были выполнены эти расчёты, приведены в Дополнении 23. Значения продолжительности солнечных $t_{\text{солт}}$ и звёздных $t_{\text{звт}}$ суток для различных эпох даны не только в современных солнечных сутках, но для большей наглядности также и в часах, минутах и секундах.

Таблица 10.

Модельная продолжительность солнечных и звёздных суток на Земле
для различных моментов геологического времени

Время t	Продолжительность солнечных суток соответствующей эпохи $t_{\text{солт}}$		Продолжительность звёздных суток соответствующей эпохи $t_{\text{звт}}$	
	(в современных солнечных сутках)	(в часах, минутах и секундах)	(в современных солнечных сутках)	(в часах, минутах и секундах)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
500 млн лет назад	0,90162035	21 ч. 38 м. 20 с.	0,89939854	21 ч. 35 м. 08 с.
400 млн лет назад	0,92129628	22 ч. 06 м. 40 с.	0,91897694	22 ч. 03 м. 20 с.
300 млн лет назад	0,94097221	22 ч. 35 м. 00 с.	0,93855322	22 ч. 31 м. 31 с.
200 млн лет назад	0,96064814	23 ч. 03 м. 20 с.	0,95812744	22 ч. 59 м. 42 с.
100 млн лет назад	0,98032407	23 ч. 31 м. 40 с.	0,97769960	23 ч. 27 м. 53 с.
настоящее время	1,00000000	24 ч. 00 м. 00 с.	0,99726967	23 ч. 56 м. 04 с.
через 100 млн лет	1,01967593	24 ч. 28 м. 20 с.	1,01683768	24 ч. 24 м. 15 с.
через 200 млн лет	1,03935186	24 ч. 56 м. 40 с.	1,03640363	24 ч. 52 м. 25 с.
через 300 млн лет	1,05902779	25 ч. 25 м. 00 с.	1,05596750	25 ч. 20 м. 36 с.
через 400 млн лет	1,07870372	25 ч. 53 м. 20 с.	1,07552929	25 ч. 48 м. 46 с.
через 500 млн лет	1,09837965	26 ч. 21 м. 40 с.	1,09508902	26 ч. 16 м. 56 с.

Как видно из Таблицы 10, модельная продолжительность солнечных $t_{\text{солт}}$ и звёздных $t_{\text{звт}}$ суток меняется по меркам геологического времени весьма и весьма быстро.

Так, за последние полмиллиарда лет модельная продолжительность как солнечных $t_{\text{солт}}$ и звёздных $t_{\text{звт}}$ суток увеличилась примерно на 10% (чуть меньше, чем на два с половиной часа). Что касается разницы между солнечными и звёздными сутками ($t_{\text{солт}} - t_{\text{звт}}$), то всё это время она была небольшой, хотя и очень медленно росла: полмиллиарда лет назад она составляла 3 минуты 12 секунд, а в настоящее время – 3 минуты 56 секунд.

Завершая разговор о долгосрочных однонаправленных изменениях некоторых важнейших параметров системы Солнце-Земля-Луна, хочется ещё раз подчеркнуть, что приведённые в этой главе количественные оценки имеют только самый ориентировочный характер. Вполне вероятно, что когда-нибудь будут выработаны более надёжные и обоснованные модели изменения рассматриваемых параметров с течением времени, но думается, что принципиально общая картина будет примерно такой же. Что же касается относительно коротких интервалов геологической истории, измеряемых несколькими миллионами или даже несколькими десятками миллионов лет, то

оценки, основанные на подобных подходах, на наш взгляд, в любом случае могут считаться достаточно точными.

Чтобы лучше почувствовать темпы изменения рассмотренных астрономических параметров с течением геологического времени, посмотрим насколько они изменятся по сравнению с современными за ближайший миллион лет. Среднее расстояние от Земли до Луны $L_{Зл\text{сред}}$ увеличится через один миллион лет на 38 километров, среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗС\text{сред}}$ – на 150 километров. Продолжительность как солнечных суток $t_{Зсол}$, так и звёздных суток $t_{Ззв}$ увеличится через миллион лет примерно на 17 секунд, продолжительность года $Tз$ – на 47 секунд, а продолжительность сидерического лунного месяца $Tл$ – на 5 минут 50 секунд. Что же касается синодического (кажущегося) периода осевого вращения Солнца $t_{С\text{синод}}$, то он уменьшится за ближайший миллион лет примерно на четверть секунды.

Глава X ВЕЧНЫЕ ИСТИНЫ (первое и второе базовые совпадения)

Оценку того, как меняется со временем точность базовых совпадений, начнём с первого из них: *отношение расстояния от Земли до Солнца к расстоянию от Земли до Луны равно отношению диаметра Солнца к диаметру Луны, в результате чего видимые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе одинаковы.*

Как уже обсуждалось в Главе II, в настоящее время средний видимый (угловой) диаметр Луны на земном небе равен $31'04,5''$, а средний видимый (угловой) диаметр Солнца – $31'58,5''$. Отношение средних угловых диаметров Луны и Солнца составляет:

$$\frac{31'04,5''}{31'58,5''} \approx 0,972,$$

а ошибка совпадения двух сравниваемых величин – около 2,8%. Но с течением геологического времени среднее расстояние от Земли до Луны $L_{3\text{Лсредт}}$ и среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{3С\text{средт}}$ меняются, а значит, меняются и средние угловые диаметры лунного и солнечного дисков на земном небе.

Ранее в Таблице 9 в Главе IX были приведены значения среднего расстояния от Земли до Луны $L_{3\text{Лсредт}}$ для различных моментов геологического времени в прошлом и в будущем (с шагом в сто миллионов лет), а в Таблице 8 в той же главе – значения среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{3С\text{средт}}$ для тех же моментов времени. Эти же значения даны ниже и в Таблице 11. Зная среднее расстояние от Земли до Луны $L_{3\text{Лсредт}}$ и среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{3С\text{средт}}$ для различных эпох можно с помощью стандартных тригонометрических формул посчитать для этих же эпох модельные значения средних угловых диаметров лунного и солнечного дисков, которые также приведены в Таблице 11. После этого не составляет труда рассчитать для соответствующих эпох и значения отношения средних угловых диаметров лунного и солнечного дисков на земном небе, которые приведены в шестой колонке этой же таблицы. В Таблице 11 приведена также дополнительная строка для момента времени 287 млн лет назад, пояснение по которой будет дано ниже.

Как видно из Таблицы 11, средние видимые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе с течением времени однонаправленно уменьшаются, при этом видимые размеры лунного диска по меркам геологического времени уменьшаются относительно быстро (Рис. 11), тогда как видимые размеры солнечного диска уменьшаются чрезвычайно медленно.

Таблица 11.

Модельная оценка изменения средних угловых диаметров Луны и Солнца на земном небе с течением геологического времени*

Время t	Среднее расстояние от Земли до Луны (тыс. км) $L_{3\text{Лсред}}t$	Средний угловой диаметр Луны	Среднее расстояние от Земли до Солнца (тыс. км) $L_{3\text{Ссред}}t$	Средний угловой диаметр Солнца	Отношение среднего углового диаметра Луны к среднему угловому диаметру Солнца [3]:[5]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
500 млн лет назад	365,4	32'41,5"	149 523	31'59,4"	1,022
400 млн лет назад	369,2	32'21,3"	149 538	31'59,2"	1,012
300 млн лет назад	373,0	32'01,5"	149 553	31'59,0"	1,001
287 млн лет назад	373,5	31'59,0"	149 555	31'59,0"	1,000
200 млн лет назад	376,8	31'42,1"	149 568	31'58,8"	0,991
100 млн лет назад	380,6	31'23,2"	149 583	31'58,7"	0,981
настоящее время	384,4	31'04,5"	149 598	31'58,5"	0,972
через 100 млн лет	388,2	30'46,3"	149 613	31'58,3"	0,962
через 200 млн лет	392,0	30'28,4"	149 628	31'58,1"	0,953
через 300 млн лет	395,8	30'10,8"	149 643	31'57,9"	0,944
через 400 млн лет	399,6	29'53,6"	149 658	31'57,7"	0,935
через 500 млн лет	403,4	29'36,7"	149 673	31'57,5"	0,927

* - размеры Луны и Солнца принимаются постоянными и равными современным (средний диаметр Луны $D_{\text{Лсред}} = 3474,8$ км; средний диаметр Солнца $D_{\text{Ссред}} = 1\,391\,400$ км).

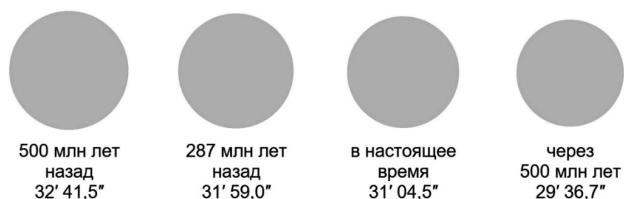


Рис. 11. Соотношение кажущихся средних размеров лунного диска 500 млн лет назад, 287 млн лет назад, в настоящее время и через 500 млн лет в будущем.

Так, полмиллиарда лет назад модельный средний угловой диаметр лунного диска был равен 32'41,5", а в настоящее время он составляет 31'04,5". За интервал времени продолжительностью в полмиллиарда лет средний угловой диаметр Луны уменьшился весьма значительно – более, чем на полторы угловых минуты, то есть примерно на 5%.

Что же касается солнечного диска, то полмиллиарда лет назад его модельный средний угловой диаметр составлял 31'59,4", а в настоящее время он равен 31'58,5". Таким образом, за последние полмиллиарда лет средний угловой диаметр Солнца уменьшился меньше, чем на угловую секунду, то есть, меньше, чем на 0,05%.

Интересно, что первоначально средние видимые размеры лунного диска были больше, чем средние видимые размеры солнечного диска. Но так как средний угловой диаметр Луны на земном небе уменьшался с течением времени значительно быстрее, чем средний угловой диаметр Солнца, то в какой-то момент средние угловые диаметры лунного и солнечного дисков должны были сравняться друг с другом. Согласно модельным расчётам, это произошло 287 миллионов лет назад (в пермском периоде в конце палеозойской эры), при этом средние угловые диаметры как Луны, так и Солнца составляли 31'59,0". В дальнейшем средние видимые размеры лунного диска всегда были меньше, чем средние видимые размеры диска Солнца, и вплоть до настоящего времени этот разрыв всё время только увеличивался и будет продолжать увеличиваться в будущем.

Впрочем, как уже говорилось в Главе III, вопрос о точности первого базового совпадения не должен сводиться только к сопоставлению средних значений видимых угловых диаметров Луны и Солнца. Напомним, что в нынешнюю эпоху в течение каждого лунного месяца бывают два таких момента времени, когда угловые диаметры лунного и солнечного дисков совпадают идеально – в эти моменты первое базовое совпадение «срабатывает» абсолютно точно! Но если это происходит два раза в месяц даже в нынешнюю эпоху, когда средние значения угловых диаметров лунного и солнечного дисков различаются на 2,8%, то не приходится сомневаться, что точные совпадения угловых размеров лунного и солнечного дисков в конкретные моменты времени регулярно происходили и тогда, когда различие между средними значениями угловых диаметров лунного и солнечного дисков было меньше, чем сейчас.

Совершенно очевидно, что моменты идеального совпадения угловых диаметров лунного и солнечного дисков регулярно (два раза в месяц) происходили и 287 миллионов лет назад, когда должны были точно совпадать даже их средние угловые диаметры. Не приходится сомневаться и в том, что точные «срабатывания» первого базового совпадения регулярно происходили и за сотни миллионов лет до ключевой точки 287 миллионов лет назад, а с тех пор регулярно происходили всё последующее время вплоть до нынешней эпохи. Понятно, что такая ситуация будет продолжаться ещё многие десятки или даже несколько сотен миллионов лет в будущем. С некоторой долей условности первое базовое совпадение можно назвать «вечным» – временное «окно» его действия длится, как минимум, многие сотни миллионов лет.

Перейдём ко второму базовому совпадению. ***Отношение расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца равно отношению диаметра Солнца к диаметру Земли***

$$\frac{L_{ЗС}}{D_{С}} = \frac{D_{С}}{D_{З}},$$

где: $L_{Зс}$ – расстояние от Земли до Солнца;
 $D_{с}$ – диаметр Солнца;
 $D_{з}$ – диаметр Земли.

Оценим, как меняется точность второго базового совпадения, приняв в качестве расстояния от Земли до Солнца $L_{Зс}$ его среднее (за один оборот вокруг Солнца) значение $L_{Зс\text{сред}t}$. В настоящее время отношение среднего расстояния от Земли до Солнца к среднему диаметру Солнца ($L_{Зс\text{сред}t}/D_{с\text{сред}}$) составляет 107,516, а отношение среднего диаметра Солнца к среднему диаметру Земли ($D_{с\text{сред}}/D_{з\text{сред}}$) равно 109,198. Ошибка совпадения двух вышеназванных отношений, то есть, ошибка, с которой в настоящее время выполняется второе базовое совпадение, составляет около 1,5%.

Но среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{Зс\text{сред}t}$ возрастает с течением времени, а значит возрастает и отношение ($L_{Зс\text{сред}t}/D_{с\text{сред}}$). Что же касается отношения среднего диаметра Солнца к среднему диаметру Земли ($D_{с\text{сред}}/D_{з\text{сред}}$), то оно остаётся постоянным, поэтому вся ответственность за изменение точности второго базового совпадения с течением времени лежит только на меняющемся во времени отношении среднего расстояния от Земли до Солнца к среднему диаметру Солнца ($L_{Зс\text{сред}t}/D_{с\text{сред}}$).

В Таблице 12 показано, как меняются с течением времени и само отношение ($L_{Зс\text{сред}t}/D_{с\text{сред}}$), и «отношение отношений» ($L_{Зс\text{сред}t}/D_{с\text{сред}}):(D_{с\text{сред}}/D_{з\text{сред}})$, то есть, величина ($L_{Зс\text{сред}t}/D_{с\text{сред}}):109,198$. Необходимые для расчётов модельные значения среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{Зс\text{сред}t}$ в различные эпохи взяты из Таблицы 8 в Главе IX.

Таблица 12.
 Модельная оценка изменения отношения среднего расстояния от Земли до Солнца к среднему диаметру Солнца с течением геологического времени

Время	Среднее расстояние от Земли до Солнца (тыс. км)	Отношение среднего расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца*	«Отношение отношений»
t	$L_{Зс\text{сред}t}$	$\frac{L_{Зс\text{сред}t}}{D_{с\text{сред}}}$	$\frac{L_{Зс\text{сред}t}}{D_{с\text{сред}}} : 109,198$
[1]	[2]	[3]	[4]
500 млн лет назад	149 523	107,462	0,9841
400 млн лет назад	149 538	107,473	0,9842
300 млн лет назад	149 553	107,484	0,9843
200 млн лет назад	149 568	107,495	0,9844
100 млн лет назад	149 583	107,505	0,9845
настоящее время	149 598	107,516	0,9846

Время t	Среднее расстояние от Земли до Солнца (тыс. км) $L_{ЗСредt}$	Отношение среднего расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца* $\frac{L_{ЗСредt}}{D_{Сред}}$	«Отношение отношений» $\frac{L_{ЗСредt}}{D_{Сред}} : 109,198$
[1]	[2]	[3]	[4]
через 100 млн лет	149 613	107,527	0,9847
через 200 млн лет	149 628	107,538	0,9848
через 300 млн лет	149 643	107,549	0,9849
через 400 млн лет	149 658	107,559	0,9850
через 500 млн лет	149 673	107,570	0,9851

* - размеры Солнца принимаются постоянными и равными современным
(средний диаметр Солнца $D_{Сред} = 1\,391\,400$ км).

Как видно из Таблицы 12, отношение среднего расстояния от Земли до Солнца к среднему диаметру Солнца ($L_{ЗСредt}/D_{Сред}$) чрезвычайно медленно увеличивается с течением геологического времени. Соответственно, чрезвычайно медленно увеличивается с течением времени и «отношение отношений» ($L_{ЗСредt}/D_{Сред}$):109,198.

Так, полмиллиарда лет назад отношение среднего расстояния от Земли до Солнца к среднему диаметру Солнца ($L_{ЗСредt}/D_{Сред}$) составляло 107,462. Сейчас это отношение равно 107,516. За полмиллиарда лет значение отношения ($L_{ЗСредt}/D_{Сред}$) увеличилось всего лишь на 0,05%.

Что касается «отношения отношений» ($L_{ЗСредt}/D_{Сред}$):109,198, то полмиллиарда лет назад оно составляло 0,9841. Ошибка, с которой полмиллиарда лет назад выполнялось второе базовое совпадение, составляла чуть меньше, чем 1,6%. В настоящее время «отношение отношений» составляет 0,9846. Ошибка, с которой сейчас выполняется второе базовое совпадение, стала несколько меньше и заметно приблизилась к 1,5%. И только ещё примерно через четыреста миллионов лет в будущем эта ошибка, наконец-то, снизится до 1,5%. «Отношение отношений» через четыреста миллионов лет будет составлять 0,9850.

Уже только из одного этого можно сделать вывод, что второе базовое совпадение «работало» и будет «работать» на протяжении огромных интервалов времени, измеряемых, как минимум, сотнями миллионов лет. При этом, ошибка, с которой выполняется второе базовое совпадение, остаётся почти одной и той же.

Как видим, ошибка, с которой выполняется второе базовое совпадение, хотя и очень медленно, но неуклонно уменьшается. Она будет неуклонно уменьшаться и в будущем, а значит гипотетически можно представить, что когда-нибудь она будет равна нулю. Отношение ($L_{ЗСредt}/D_{Сред}$) дорастёт тогда до значения 109,198 и, соответственно, станет равным постоянному

отношению ($D_{\text{Сред}}/D_{\text{Зсред}}$). Правда, это может произойти ещё только через многие-многие миллиарды лет.

Вопрос о выполнении второго базового совпадения на протяжении интервалов времени, измеряемых миллиардами лет, обсуждается в Дополнении 24.

К оценке изменения точности выполнения второго базового совпадения с течением геологического времени, можно подойти и несколько с иной стороны. Как уже обсуждалось в Главе V, в настоящую эпоху каждый год обязательно бывают два момента времени, когда второе базовое совпадение выполняется идеально.

Напомним, что в настоящую эпоху расстояние от Земли до Солнца меняется в течение года в пределах от $L_{\text{Зmin}} = 147\,098\,290$ км до $L_{\text{Зmax}} = 152\,098\,232$ км. Из этого следует, что текущее конкретное значение отношения ($L_{\text{З}}/D_{\text{Сред}}$) меняется в течение года в интервале $105,720 \div 109,313$. А значит, в течение года обязательно имеют место два момента времени, когда текущее значение отношения ($L_{\text{З}}/D_{\text{Сред}}$) в точности равно постоянному значению отношения ($D_{\text{Сред}}/D_{\text{Зсред}}$):

$$\frac{L_{\text{З}}}{D_{\text{Сред}}} = \frac{D_{\text{Сред}}}{D_{\text{Зсред}}} = 109,198.$$

Такая ситуация, когда два раза в течение каждого года имеют место моменты идеального выполнения второго базового совпадения, уже длится, как минимум, многие сотни миллионов лет, и будет длиться ещё многие миллиарды лет.

Второе базовое совпадение, как и первое, тоже можно назвать «вечным» – временное «окно» его действия измеряется миллиардами лет.

Глава XI

КАК МИМОЛЁТНОЕ ВИДЕНЬЕ (третье, четвёртое и пятое базовые совпадения)

Напомним третье базовое совпадение: *кажущийся (синодический) период осевого вращения Солнца равен реальному периоду обращения Луны вокруг Земли (сидерическому месяцу)*

$$t_{\text{синод}} = T_{\text{л}},$$

где $t_{\text{синод}}$ – синодический период осевого вращения Солнца;

$T_{\text{л}}$ – период обращения Луны вокруг Земли (сидерический месяц).

В настоящее время $t_{\text{синод}0} = 27,2752$ земных суток, а $T_{\text{л}0} = 27,321661$ земных суток. Ошибка совпадения двух сравниваемых периодов, то есть, ошибка, с которой в нынешнюю эпоху выполняется третье базовое совпадение, составляет 0,17%. В принципе, это весьма хорошая точность, но оба сравниваемых периода меняются с течением времени. Сопоставим приведённые в Таблице 13 модельные значения продолжительности кажущегося (синодического) периода осевого вращения Солнца $t_{\text{синод}t}$ и продолжительности реального (сидерического) периода обращения Луны вокруг Земли $T_{\text{лт}}$ для различных эпох в прошлом и будущем.

Модельные значения $t_{\text{синод}t}$ и $T_{\text{лт}}$ на полмиллиарда лет в прошлое и в будущее с шагом в сто миллионов лет взяты, соответственно, из Таблиц 8 и 9 в Главе IX. В Таблице 13 приведены также три дополнительных строки для моментов времени 28,25 млн лет назад, 11,45 млн лет назад и через 5,35 млн лет в будущем, пояснения по которым будут даны ниже.

Как уже отмечалось в Главе IX, синодический период осевого вращения Солнца $t_{\text{синод}t}$ с течением временем очень медленно уменьшается. За последние полмиллиарда лет он уменьшился всего лишь примерно на 0,006%, то есть немного больше, чем на две минуты. А вот сидерический период обращения Луны вокруг Земли $T_{\text{лт}}$, наоборот, увеличивается с течением времени, причём по астрономическим меркам увеличивается весьма быстро. За последние полмиллиарда лет он увеличился почти на 8%, то есть, чуть больше, чем на двое современных суток.

В настоящее время продолжительность двух сравниваемых периодов различается примерно на один час, тогда как полмиллиарда лет назад разница между ними составляла почти двое суток. Через полмиллиарда лет в будущем она тоже будет составлять примерно двое суток (немного больше), правда, если полмиллиарда лет назад сидерический период обращения Луны вокруг Земли $T_{\text{лт}}$ был меньше, чем синодический период осевого вращения Солнца $t_{\text{синод}t}$, то через полмиллиарда лет всё будет наоборот.

Таблица 13.

Оценка изменения точности совпадения синодического (кажущегося) периода осевого вращения Солнца и сидерического лунного месяца с течением геологического времени

Время t	Синодический период осевого вращения Солнца $t_{\text{синод}t}$	Сидерический период орбитального обращения Луны вокруг Земли T_{lt}	Отношение синодического периода осевого вращения Солнца к сидерическому периоду орбитального обращения Луны вокруг Земли $\frac{t_{\text{синод}t}}{T_{lt}}$
	(в современных земных сутках)		
[1]	[2]	[3]	[4]
500 млн лет назад	27,2768	25,3212	1,0772
400 млн лет назад	27,2765	25,7173	1,0606
300 млн лет назад	27,2762	26,1153	1,0445
200 млн лет назад	27,2758	26,5154	1,0287
100 млн лет назад	27,2755	26,9175	1,0133
28,25 млн лет назад*	27,2753	27,2073	1,0025
11,45 млн лет назад*	27,2753	27,2753	1,0000
настоящее время	27,2752	27,3217	0,9983
через 5,35 млн лет*	27,2752	27,3433	0,9975
через 100 млн лет	27,2749	27,7278	0,9837
через 200 млн лет	27,2746	28,1359	0,9694
через 300 млн лет	27,2743	28,5460	0,9555
через 400 млн лет	27,2740	28,9581	0,9418
через 500 млн лет	27,2737	29,3722	0,9286

* - округлено до 0,05 миллионов лет.

Согласно модельным расчётам наилучшее совпадение синодического периода осевого вращения Солнца $t_{\text{синод}t}$ и сидерического периода обращения Луны вокруг Земли T_{lt} имело место 11,45 миллионов лет назад, когда продолжительность сравниваемых периодов с точностью до четвёртого знака после запятой составляла 27,2753 современных суток. Можно сказать, что около 11,45 миллионов лет назад ошибка совпадения двух периодов составляла 0%, то есть третье базовое совпадение выполнялось идеально.

Временное «окно», в течение которого ошибка третьего базового совпадения составляла и будет составлять не более $\pm 0,25\%$, имеет общую продолжительность 33,60 миллионов лет. Оно началось 28,25 миллионов лет назад в середине олигоценовой эпохи и закончится в будущем через 5,35 миллионов лет.

Четвёртое базовое совпадение: *количество оборотов Земли вокруг своей оси (звёздных суток) в течение одного земного года (366) равно отношению диаметра Земли к диаметру Луны (3,66), умноженному на 100*

$$\frac{T_3}{t_{3зв}} = \frac{D_{3сред}}{D_{лсред}} \times 100,$$

где: T_3 – период обращения Земли вокруг Солнца;

$t_{3зв}$ – звёздные сутки Земли;

$D_{3сред}$ – средний диаметр Земли;

$D_{лсред}$ – средний диаметр Луны.

Размеры Земли и Луны не меняются с течением времени, поэтому величина $(D_{3сред}/D_{лсред}) \times 100$, составляющая правую часть уравнения, является постоянной и равна 366,69736. Напротив, период обращения Земли вокруг Солнца T_3 и продолжительность звёздных суток $t_{3зв}$ меняются со временем. Меняется также и их отношение $(T_3/t_{3зв})$, составляющее левую часть уравнения. В настоящее время оно равно 366,25636. Ошибка совпадения двух вышеназванных величин, то есть, ошибка, с которой сейчас выполняется четвёртое базовое совпадение, составляет 0,12%.

В Главе VII частное от деления отношения $(T_3/t_{3зв})$ на отношение $(D_{3сред}/D_{лсред})$ было названо коэффициентом α (альфа), который в настоящее время составляет:

$$\alpha = \frac{T_3}{t_{3зв}} : \frac{D_{3сред}}{D_{лсред}} = 366,25636 : 3,6669736 = 99,87973.$$

Так как отношение $(T_3t/t_{3звт})$ меняется с течением времени, то меняется и значение коэффициента α . Модельные оценки коэффициента α для различных эпох приведены в Таблице 14. Идеальное выполнение четвёртого базового совпадения должно иметь место, когда $\alpha = 100$.

Модельные значения количества звёздных суток соответствующей эпохи в одном земном году этой же эпохи $(T_3t/t_{3звт})$ на полмиллиарда лет в прошлое и в будущее с шагом в сто миллионов лет уже рассчитывались ранее и были приведены в Таблице Д-17 в Дополнении 23. В Таблице 14 приведены также три дополнительных строки для моментов времени 18,95 миллионов лет назад, 6,20 миллионов лет назад и через 6,70 миллионов лет.

Период, за который Земля совершает один оборот вокруг Солнца T_3t (то есть, год), и период, за который она совершает один оборот вокруг своей оси $t_{3звт}$ (то есть, звёздные сутки), однонаправленно увеличиваются с течением времени. Но продолжительность звёздных суток $t_{3звт}$ возрастает значительно более быстрыми темпами, чем продолжительность года T_3t , поэтому количество звёздных суток в течение одного года $(T_3t/t_{3звт})$ с течением времени достаточно быстро уменьшается. Так, полмиллиарда лет назад расчётное количество полных звёздных суток в одном земном году составляло 405, в настоящее время – 366, а через полмиллиарда лет оно уменьшится до 333. Что же касается коэффициента α , то полмиллиарда лет назад он был больше 110 (то есть, значительно больше, чем 100), в настоящее время – почти что равен 100, а через полмиллиарда лет уменьшится почти до 91 (то есть, будет значительно меньше, чем 100).

Таблица 14.

Оценка изменения коэффициента α для Луны с течением геологического времени

Время t	Количество звёздных суток эпохи в году $\frac{T_{3t}}{t_{3звt}}$	Кoeffи- циент α	Время t	Количество звёздных суток эпохи в году $\frac{T_{3t}}{t_{3звt}}$	Кoeffи- циент α
[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]
500 млн лет назад	405,80664	110,665	настоящее время	366,25636	99,880
400 млн лет назад	397,22072	108,324	через 6,70 млн лет*	365,77916	99,750
300 млн лет назад	388,99388	106,080	через 100 млн лет	359,26201	97,972
200 млн лет назад	381,10404	103,929	через 200 млн лет	352,53301	96,137
100 млн лет назад	373,53147	101,864	через 300 млн лет	346,05353	94,370
18,95 млн лет назад*	367,61290	100,250	через 400 млн лет	339,81044	92,668
6,20 млн лет назад*	366,69907	100,000	через 500 млн лет	333,79102	91,026

* - округлено до 0,05 миллионов лет.

Как видно из Таблицы 14, точное совпадение величин $(T_{3t}/t_{3звt})$ и $(D_{зсред}/D_{лсред}) \times 100$, то есть, идеальное выполнение четвёртого базового совпадения имело место 6,20 миллионов лет назад. Коэффициент α для этого момента времени с точностью до третьего знака после запятой должен был быть равен 100,000.

Временное «окно», в течение которого ошибка четвёртого базового совпадения была и будет не более $\pm 0,25\%$, имеет общую продолжительность 25,65 миллионов лет. Оно началось 18,95 миллионов лет назад в начале миоценовой эпохи и закончится в будущем через 6,70 миллионов лет.

И, наконец, перейдём к пятому базовому совпадению: *количество солнечных суток Земли в течение одного лунного месяца (27,3) равно отношению диаметра Луны к диаметру Земли (0,273), умноженному на 100*

$$\frac{T_{л}}{t_{сол}} = \frac{D_{лсред}}{D_{зсред}} \times 100,$$

где: $T_{л}$ – период обращения Луны вокруг Земли; $t_{сол}$ – солнечные сутки Земли; $D_{лсред}$ – средний диаметр Луны; $D_{зсред}$ – средний диаметр Земли.

Размеры Земли и Луны не меняются с течением времени, поэтому величина $(D_{\text{Лсред}}/D_{\text{Зсред}}) \times 100$, составляющая правую часть уравнения, не меняется с течением времени и равна 27,270444. Напротив, период обращения Луны вокруг Земли $T_{\text{л}}$ и продолжительность солнечных суток $t_{\text{Зсол}}$ меняются со временем. Меняется и их отношение $(T_{\text{л}}/t_{\text{Зсол}})$, составляющее левую часть уравнения. В настоящее время оно равно 27,321661. Ошибка совпадения двух вышеуказанных величин, то есть, ошибка, с которой в настоящее время выполняется пятое базовое совпадение, составляет 0,19%.

В Главе VIII частное от деления отношения $(T_{\text{л}}/t_{\text{Зсол}})$ на отношение $(D_{\text{Лсред}}/D_{\text{Зсред}})$ было названо коэффициентом β (бета), который в настоящее время составляет:

$$\beta = \frac{T_{\text{л}}}{t_{\text{Зсол}}} : \frac{D_{\text{Лсред}}}{D_{\text{Зсред}}} = 27,321661 : 0,27270444 = 100,18781.$$

Так как отношение $(T_{\text{лт}}/t_{\text{Зсолт}})$ меняется с течением времени, то меняется и значение коэффициента β . Модельные оценки коэффициента β для различных эпох приведены в Таблице 15. Идеальное выполнение пятого базового совпадения должно иметь место, когда $\beta = 100$.

Модельные значения количества солнечных суток соответствующей эпохи в одном сидерическом лунном месяце этой же эпохи $(T_{\text{лт}}/t_{\text{Зсолт}})$ на полмиллиарда лет в прошлое и в будущее с шагом в сто миллионов лет уже рассчитывались ранее и были приведены в Таблице Д-19 в Дополнении 23. В Таблице 15 приведены также три дополнительных строки для моментов времени 12,75 миллионов лет назад, через 39,10 миллионов лет в будущем и через 92,45 миллионов лет в будущем.

Период, за который Луна совершает один оборот вокруг Земли $T_{\text{лт}}$ (то есть, сидерический лунный месяц), и солнечные сутки на нашей планете $t_{\text{Зсолт}}$ односторонне увеличиваются с течением времени. Но при этом продолжительность солнечных суток $t_{\text{Зсолт}}$ возрастает более быстрыми темпами, чем продолжительность сидерического лунного месяца $T_{\text{лт}}$, поэтому количество солнечных суток в течение одного лунного месяца $(T_{\text{лт}}/t_{\text{Зсолт}})$ уменьшается. Так, полмиллиарда лет назад расчётное количество полных солнечных суток в одном сидерическом лунном месяце составляло 28, в настоящее время – 27, а через полмиллиарда лет оно уменьшится до 26. Что же касается коэффициента β , то полмиллиарда лет назад он был чуть меньше 103, в настоящее время – уменьшился почти до 100, а через полмиллиарда лет уменьшится почти до 98.

Точное совпадение величин $(T_{\text{лт}}/t_{\text{Зсолт}})$ и $(D_{\text{Лсред}}/D_{\text{Зсред}}) \times 100$, то есть, идеальное выполнение пятого базового совпадения будет иметь место через 39,10 миллионов лет. Коэффициент β в этот момент времени с точностью до третьего знака после запятой будет равен 100,000.

Временное «окно», в течение которого ошибка пятого базового совпадения была и будет не более $\pm 0,25\%$, имеет общую продолжительность 105,20 миллионов лет. Оно началось 12,75 миллионов лет назад в середине миоценовой эпохи и закончится через 92,45 миллионов лет в будущем.

Таблица 15.

Оценка изменения коэффициента β для Луны с течением геологического времени

Время t	Количество солнечных суток эпохи в сидериче- ском лунном месяце $\frac{T_{лт}}{t_{зсолт}}$	Коэффи- циент β	Время t	Количество солнечных суток эпохи в сидериче- ском лунном месяце $\frac{T_{лт}}{t_{зсолт}}$	Коэффи- циент β
[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]
500 млн лет назад	28,084127	102,984	через 39,10 млн лет*	27,270422	100,000
400 млн лет назад	27,914210	102,361	через 92,45 млн лет*	27,202242	99,750
300 млн лет назад	27,753530	101,771	через 100 млн лет	27,192771	99,715
200 млн лет назад	27,601588	101,214	через 200 млн лет	27,070638	99,267
100 млн лет назад	27,457768	100,687	через 300 млн лет	26,954955	98,843
12,75 млн лет назад*	27,338606	100,250	через 400 млн лет	26,845282	98,441
настоящее время	27,321661	100,188	через 500 млн лет	26,741366	98,060

* - округлено до 0,05 миллионов лет.

На фоне практически «вечных» первого и второго базовых совпадений, время действия которых измеряется сотнями миллионов и даже миллиардами лет, рассматриваемые в этой главе третье, четвёртое и пятое базовые совпадения в геологическом масштабе времени выглядят чем-то краткосрочным, почти мимолётным. Для пятого базового совпадения продолжительность временного «окна», когда оно выполняется с ошибкой в пределах $\pm 0,25\%$, составляет чуть больше ста миллионов лет, а для третьего и четвёртого – и вовсе лишь первые десятки миллионов лет.

Как уже было отмечено в Главе IX, расчёты продолжительности солнечных суток $t_{зсолт}$ и звёздных суток $t_{ззвт}$ для различных эпох были выполнены, исходя из допущения, что темпы увеличения продолжительности солнечных суток составляют 1,7 миллисекунды за столетие. Эта оценка, полученная на основании анализа систематического сдвига по долготе географических пунктов, где согласно расчётам должны были наблюдаться солнечные затмения, по сравнению с тем, где согласно хроникам они реально наблюдались за последние двадцать семь веков, является в настоящее время наиболее широко принятой.

Если же использовать для расчётов упомянутую в Дополнении 4 оценку темпов увеличения продолжительности солнечных суток, основанную на высокоточных телескопических наблюдениях за последние три века (2,3 миллисекунды за столетие), то модельные «окна» наиболее точного выполнения четвёртого и пятого базовых совпадений получатся ещё более «узкими», чем «окна», которые были показаны в этой главе, а расчётные моменты наиболее точного выполнения этих базовых совпадений будут ещё более близкими к современной эпохе.

Так, временное «окно», в течение которого ошибка четвёртого базового совпадения была и будет не более $\pm 0,25\%$, начиналось бы 14,00 миллионов лет назад (здесь и далее – округлено до 0,05 миллионов лет) и заканчивалось бы в будущем через 4,95 миллионов лет. Таким образом, общая продолжительность наиболее «благоприятного» «окна» составила бы 18,95 миллионов лет. Идеальное выполнение четвёртого базового совпадения имело бы место 4,55 миллионов лет назад.

Что касается пятого базового совпадения, то соответствующее временное «окно» начиналось бы 5,25 миллионов лет назад и заканчивалось бы в будущем через 37,45 миллионов лет. Общая продолжительность наиболее «благоприятного» «окна» составила бы всего лишь 42,70 миллионов лет. Идеальное выполнение пятого базового совпадения имело бы место через 16,00 миллионов лет в будущем.

Как видим, при использовании в расчётах величины темпов увеличения продолжительности солнечных суток $T_{сол}$, вычисленных на основе телескопических наблюдений за последние три века (2,3 миллисекунды за столетие), временное «окно» наиболее точного выполнения четвёртого базового совпадения было бы примерно на четверть более «узким», а для пятого базового совпадения – почти в два с половиной раза более «узким», чем при расчётах, выполненных на основе данных о солнечных затмениях за последние двадцать семь веков (1,7 миллисекунды за столетие).

Глава XII

ЕСТЬ ТОЛЬКО МИГ МЕЖДУ ПРОШЛЫМ И БУДУЩИМ... (подведение итогов)

Настало время подвести итоги. Прежде всего отметим, что все пять базовых совпадений выполняются с очень хорошей точностью. Первые два базовых совпадения, в которых «задействованы» как постоянные, так и быстроменяющиеся периодические величины, в определённые регулярно повторяющиеся моменты времени выполняются абсолютно точно.

Так, первое базовое совпадение абсолютно точно выполняется два раза в каждый лунный месяц. Это означает, что два раза в месяц обязательно бывают такие моменты времени, когда угловые размеры солнечного и лунного дисков на земном небе совпадают идеально. В такие моменты быстро меняющееся отношение текущего расстояния до Солнца к текущему расстоянию до Луны в точности равно постоянному отношению среднего диаметра Солнца к среднему диаметру Луны:

$$\frac{L_{Зс}}{L_{Зл}} = \frac{D_{Ссред}}{D_{Лсред}} = 400,43$$

где: $L_{Зс}$ – текущее расстояние от земного наблюдателя до Солнца;
 $L_{Зл}$ – текущее расстояние от земного наблюдателя до Луны;
 $D_{Ссред}$ – средний диаметр Солнца;
 $D_{Лсред}$ – средний диаметр Луны

А второе базовое совпадение выполняется абсолютно точно два раза в год. Это означает, что два раза в год обязательно бывают такие моменты времени, когда быстро меняющееся отношение текущего расстояния от Земли до Солнца к среднему диаметру Солнца в точности равно постоянному отношению среднего диаметра Солнца к среднему диаметру Земли:

$$\frac{L_{Зс}}{D_{Ссред}} = \frac{D_{Ссред}}{D_{Зсред}} = 109,198$$

где: $L_{Зс}$ – текущее расстояние от Земли до Солнца;
 $D_{Ссред}$ – средний диаметр Солнца;
 $D_{Зсред}$ – средний диаметр Земли.

Что касается третьего, четвёртого и пятого базовых совпадений, то в них не задействованы никакие быстроменяющиеся периодические величины, а задействованы только величины, которые либо вообще не меняются во времени, либо испытывают очень медленные однонаправленные изменения,

заметные лишь в масштабе больших интервалов геологического времени. Во всех трёх случаях ошибка, с которой выполняются эти базовые совпадения, в настоящую эпоху не превышает 0,2%.

Как было показано на страницах этой книги, ни одно из пяти базовых совпадений не имеет аналогов в других частях Солнечной системы. Допускаю, что в какие-то моменты читателя раздражало перечисление и сопоставление многочисленных параметров, характеризующих другие планеты Солнечной системы и их спутники. Но все эти цифры приводились только для того, чтобы попытаться любым путём найти для других систем Солнце-планета-спутник хоть какие-нибудь аналоги рассматриваемых базовых совпадений, и... все эти попытки не увенчались успехом. Все пять базовых совпадений оказались характерными только для системы Солнце-Земля-Луна.

Как же могло так получиться, что из всех многочисленных спутников планет Солнечной системы только наша Луна обладает таким необычным сочетанием численных параметров? Если бы речь шла только об одном или даже о двух рассмотренных совпадениях, то это, конечно, могло быть случайностью, но этих совпадений, как минимум, пять!

Напомним к тому же, что, как было отмечено ещё в Предисловии, различных совпадений, связанных с численными параметрами системы Солнце-Земля-Луна, на самом деле, известно больше. В этой книге рассмотрены только пять из них, которые представляются автору наиболее важными и интересными.

Это не может не озадачивать. Но ещё больше интригует тот факт, что рассматриваемые базовые совпадения, если брать их во всей своей совокупности, выполняются наиболее точно именно в современную эпоху. Как обсуждалось в главе IX, многие астрономические параметры испытывают систематические однонаправленные изменения с течением геологического времени, и это автоматически приводит к изменению точности выполнения базовых совпадений.

Напомним, что если установленные для настоящей эпохи темпы изменения астрономических параметров экстраполировать на большие интервалы времени, то среднее расстояние от Земли до Луны $L_{ЗЛср}$ в течение ближайшего миллиона лет должно увеличиться на 38 километров, а среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСср}$ – на 150 километров. Продолжительность как солнечных суток $t_{сол}$, так и звёздных суток $t_{сол}$ увеличится через миллион лет примерно на 17 секунд, продолжительность года $T_з$ – на 47 секунд, а продолжительность сидерического лунного месяца $T_л$ – на 5 минут 50 секунд. Конечно, указанные изменения, которые должны произойти за один миллион лет, могут показаться совсем незначительными, но если счёт идёт на десятки или сотни миллионов лет, то накапливающиеся изменения становятся уже весьма и весьма существенными.

Далее, в главах X и XI было проанализировано, какое временное «окно» наилучшего действия имеет каждое из пяти базовых совпадений. Впрочем, первое и второе базовые совпадения можно считать практически «вечными» – они действуют в течение огромных интервалов времени, измеряемых сотнями миллионов и даже миллиардами лет. Но вот что касается третьего, четвертого

и пятого базовых совпадений, то время их наиболее точного действия удивительным образом приурочено к современной (в геологическом масштабе времени) эпохе.

Так, третье базовое совпадение, которое в настоящий момент выполняется с ошибкой 0,17% согласно модельным расчётам должно было идеально выполняться 11,45 миллионов лет назад. Это означает, что кажущийся (синодический) период осевого вращения Солнца абсолютно точно совпадал тогда с реальным периодом орбитального обращения Луны вокруг Земли (то есть, с сидерическим месяцем):

$$t_{\text{Синод}(-11,45)} = T_{\text{Л}(-11,45)} = 27,2753 \text{ современных суток}$$

где: $t_{\text{Синод}(-11,45)}$ – кажущийся (синодический) период осевого вращения Солнца 11,45 миллионов лет назад;
 $T_{\text{Л}(-11,45)}$ – период обращения Луны вокруг Земли (сидерический месяц) 11,45 миллионов лет назад.

Четвёртое базовое совпадение, которое в настоящий момент выполняется с ошибкой 0,12% должно было идеально выполняться 6,20 миллионов лет назад. Это означает, что количество звёздных суток в течение одного земного года должно было тогда в точности равняться умноженному на 100 отношению среднего диаметра Земли к среднему диаметру Луны:

$$\frac{T_{\text{З}(-6,20)}}{t_{\text{Зв}(-6,20)}} = \frac{D_{\text{Зсред}}}{D_{\text{Лсред}}} \times 100 = 366,699$$

где: $T_{\text{З}(-6,20)}$ – период обращения Земли вокруг Солнца 6,20 миллионов лет назад;
 $t_{\text{Зв}(-6,20)}$ – звёздные сутки Земли 6,20 миллионов лет назад;
 $D_{\text{Зсред}}$ – средний диаметр Земли;
 $D_{\text{Лсред}}$ – средний диаметр Луны.

И наконец, пятое базовое совпадение, которое в настоящий момент выполняется с ошибкой 0,19% будет идеально выполняться через 39,10 миллионов лет. Это означает, что количество солнечных суток в течение одного сидерического лунного месяца должно будет в точности равняться умноженному на 100 отношению среднего диаметра Луны к среднему диаметру Земли:

$$\frac{T_{\text{Л}(+39,10)}}{t_{\text{Сол}(+39,10)}} = \frac{D_{\text{Лсред}}}{D_{\text{Зсред}}} \times 100 = 27,270$$

где: $T_{\text{Л}(+39,10)}$ – период обращения Луны вокруг Земли через 39,10 миллионов лет;
 $t_{\text{Сол}(+39,10)}$ – солнечные сутки Земли через 39,10 миллионов лет;
 $D_{\text{Лсред}}$ – средний диаметр Луны;
 $D_{\text{Зсред}}$ – средний диаметр Земли.

По человеческим меркам вышеназванные 11,45 миллионов лет, 6,20 миллиона лет и 39,10 миллионов лет – это огромные интервалы времени. Но в масштабе геологического времени по сравнению с четырьмя с половиной миллиардами лет истории нашей планеты – это, наоборот, совсем небольшие промежутки. И такая приуроченность моментов идеального выполнения третьего, четвёртого и пятого базовых совпадений к нынешней геологической эпохе не может не удивлять.

Представляет интерес сопоставить не только моменты наиболее точного выполнения третьего, четвёртого и пятого базовых совпадений, но и «окна» их относительно точного выполнения, например, периоды, когда ошибка каждого из этих совпадений не превышала 0,25%. Как было показано в предыдущей главе, временное «окно», в течение которого третье базовое совпадение выполняется с ошибкой в пределах $\pm 0,25\%$, согласно модельным расчётам «открылось» 28,25 миллионов лет назад и «закрывается» через 5,35 миллионов лет. Для четвёртого базового совпадения подобное временное «окно» «открылось» 18,95 миллионов лет назад, а «закрывается» через 6,70 миллионов лет. И, наконец, для пятого базового совпадения такое временное «окно» «открылось» позже всех – 12,75 миллионов лет назад, но и «закрывается» оно тоже позже всех – через 92,45 миллиона лет.

Судя по вышеприведённым срокам, интервал времени, когда «открыты» все «окна», начался 12,75 миллионов лет назад и завершится через 5,35 миллионов лет в будущем. Таким образом, этот самый «благоприятный» интервал имеет длительность всего лишь 18,10 миллионов лет.

Если мысленно сжать шкалу времени так, чтобы в каждой секунде умещался бы один миллион лет геологической истории, то тогда вся предшествующая история нашей планеты (4,54 миллиардов лет) длилась бы примерно 76 минут, а интервал времени, когда «открыты» все «окна» – всего лишь 18 секунд.

По сравнению со многими миллиардами лет прошедшей и будущей геологической истории такой промежуток времени представляется почти что мгновением. И что поразительно – именно на этот «миг» геологической истории, когда, образно говоря, все «окна» оказались «открыты» настужь, приходится появление и развитие человечества! Вот уж действительно, как поётся в известной песне:

*«Есть только миг между прошлым и будущим,
Именно он называется жизнь...»*

(Леонид Дербенёв)

Конечно, приведённые здесь сроки оптимального «действия» третьего, четвёртого и пятого базовых совпадений – это лишь результаты модельных расчётов, которые со временем могут быть в какой-то мере уточнены. Но лишь в какой-то мере. В целом же можно не сомневаться, что принципиально общая картина останется той же: совпадения «работают» именно здесь и сейчас!

Напомним ещё раз, что расчёты продолжительности солнечных суток $t_{\text{Esol}}t$ и звёздных суток $t_{\text{Estell}}t$ для различных эпох были выполнены в этой книге, исходя из формального допущения, что темпы увеличения продолжительности солнечных суток являются постоянными и составляют 1.7 миллисекунды за столетие. Эта оценка, полученная на основании анализа данных по солнечным затмениям за последние двадцать семь веков, является в настоящее время наиболее широко принятой. Если же использовать для расчётов оценку, основанную на высокоточных телескопических наблюдениях за последние три века (2.3 миллисекунды за столетие), то, как было отмечено в Главе XI, модельные «окна» наиболее точного выполнения четвёртого и пятого базовых совпадений получатся ещё более «узкими». Что же касается самого «благоприятного» интервала, когда «открыты» все «окна», то и он в этом случае тоже стал бы ещё более «узким», начинаясь 5,25 миллионов лет назад и завершаясь через 4,95 миллионов лет в будущем. Таким образом, этот самый «благоприятный» интервал имел бы длительность всего лишь 10,20 миллионов лет.

Подводя итог всему, о чём говорилось в этой книге, хотелось бы сформулировать два главных парадокса, связанных с параметрами системы Солнце-Земля-Луна. Первый парадокс состоит в самом наличии пяти базовых совпадений, которые выполняются в системе Солнце-Земля-Луна с очень хорошей точностью и не имеют аналогов в других частных системах Солнце-планета-спутник.

Второй парадокс заключается в том, что за всю историю нашей планеты (как прошлую, так и будущую) рассмотренные базовые совпадения во всей своей совокупности выполнялись и выполняются с наилучшей точностью в течение довольно короткого интервала времени, и именно на этот интервал приходится появление и развитие человечества. Всё выглядит так, как будто всё было сознательно кем-то подстроено, причём подстроено именно для нынешней эпохи!

Заметим, что представление о том, что параметры системы Солнце-Земля-Луна были сознательно заданы какой-то неизвестной нам разумной силой, неоднократно высказывалось в разное время очень многими авторами. При этом в качестве аргументов в пользу столь «сумасшедшей» идеи прежде всего использовались именно те факты, которые были названы в этой книге базовыми совпадениями.

Подробный анализ столь экстравагантной гипотезы не входит в задачу этой книги, но, тем не менее, о некоторых авторах, которые с разной степенью серьёзности развивали подобные представления, всё-таки следует упомянуть.

Так, в 1981 году российский астроном Владимир Коваль опубликовал в июльском номере журнала «Техника - молодёжи» статью «Памятник на тысячелетия?», где высказал идею, что Луна является искусственным монументом, оставленным нам какой-то внеземной цивилизацией. В качестве главного аргумента Коваль приводил равенство угловых размеров солнечного и лунного дисков на земном небе, не имеющее больше никаких аналогов в других частях Солнечной системы (то есть, в нашей терминологии – первое базовое совпадение).

В 2001 году во втором выпуске бюллетеня «Вестника SETI» вышла статья российского астронома Сергея Язева «Бритва Оккама и структура Солнечной системы», где в пользу идеи о сознательном воздействии какой-то разумной силы на параметры системы

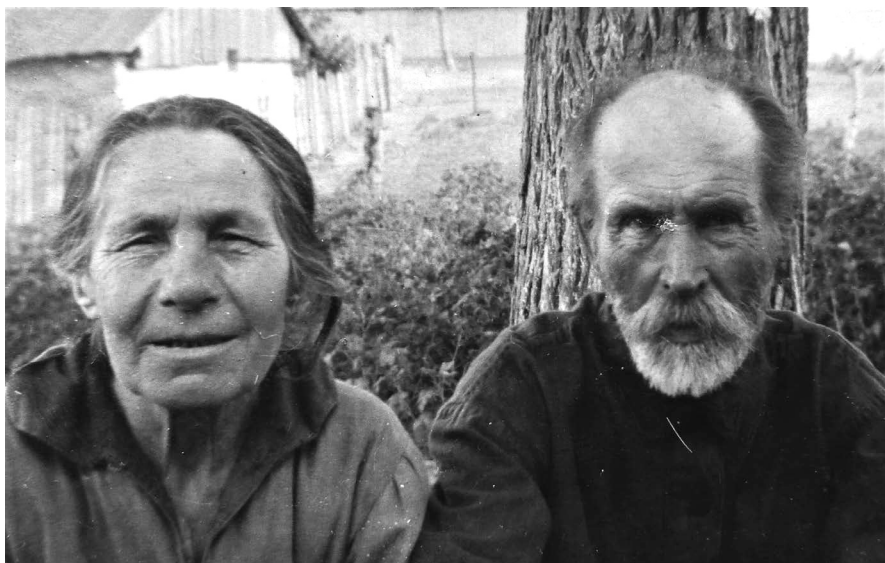
Солнце-Земля-Луна приводилось ещё два аргумента. Этими новыми аргументами были равенство отношения расстояния от Земли до Солнца к диаметру Солнца и отношения диаметров Солнца и Земли (то есть, второе базовое совпадение) и равенство кажущегося периода осевого вращения Солнца и реального (сидерического) периода орбитального обращения Луны вокруг Земли (то есть, третье базовое совпадение).

В 2005 году британские исследователи Кристофер Найт и Алан Батлер [Christopher Knight & Alan Butler] опубликовали книгу «Кто построил Луну?» [“Who built the Moon?”], в которой идея искусственного происхождения Луны получила дальнейшее развитие. Русский перевод этой книги под названием «Мистерия Луны» был издан в 2007 году. Среди многочисленных аргументов, которые приводили Найт и Батлер в пользу своих взглядов, были также и удивительные численные соотношения, которые мы называем здесь четвёртым и пятым базовыми совпадениями. Также следует особенно отметить, что Найт и Батлер вероятно были первыми, кто высказал мысль, что удивительные численные совпадения параметров системы Солнце-Земля-Луна выполняются наиболее точно именно в современную эпоху.

Справедливости ради отметим, что ни Коваль, ни Язев совершенно не утверждали, что их осторожные предположения должны обязательно оказаться верными. Статьи этих двух авторов, на мой взгляд, прежде всего просто показывали, под каким неожиданным углом иногда можно взглянуть на хорошо известные всем факты. Сам Сергей Язев позднее отмечал, что его статья была написана почти что в шутку. Что же касается работы Найта и Батлера, то они развивали идею об искусственном происхождении Луны уже со всей серьёзностью.

Как бы ни относиться к самой мысли о возможности сознательного воздействия какой-то разумной силы на параметры системы Солнце-Земля-Луна, сами парадоксы, связанные с этими параметрами, конечно же, не могут не озадачивать. На мой взгляд, удивительные численные совпадения, которым посвящена эта книга, не могут быть случайными, и вполне возможно, что за этими совпадениями кроется что-то очень-очень важное, чего мы пока ещё не знаем о процессах образования Земли и Луны.

Причины существования всей совокупности численных совпадений параметров системы Солнце-Земля-Луна остаются неизвестными. И я очень надеюсь, что книга, которую Вы прочитали, привлечёт к этой проблеме самое широкое и серьёзное внимание, и в конце концов кому-нибудь удастся решить эту загадку и по-настоящему понять, что же всё это значит на самом деле?



Анна Тимофеевна Хломенок и Денис Николаевич Хломенок
– люди, которым посвящена эта книга
(Барнаул, 1950)



Автор книги в период работы над текстом
(Санкт-Петербург, 2021)

ДОПОЛНЕНИЯ

Дополнение 1. Сидерический, синодический и аномалистический лунные месяцы

Чему равна продолжительность лунного месяца? На первый взгляд кажется, что ответ на этот вопрос совершенно очевиден: продолжительность лунного месяца равна периоду смены фаз Луны, например, от одного новолуния, когда Луна находится на одной линии между Землёй и Солнцем, до следующего новолуния, когда Луна снова окажется на одной линии между Землёй и Солнцем. В астрономии такой период между двумя моментами времени, когда Луна для земного наблюдателя занимает одинаковое положение относительно Солнца (и, следовательно, имеет одну и ту же фазу), называется *синодическим* месяцем.

Однако, когда говорят о периоде обращения Луны вокруг Земли, то обычно подразумевают не синодический, а *сидерический* месяц, который иногда также называют звёздным месяцем. Сидерический месяц равен периоду времени между двумя последовательными возвращениями Луны в одно и то же место небесной сферы, то есть в одно и то же место на фоне условно неподвижных звёзд. Иными словами, если в какой-то момент времени зафиксировать, что Луна находится на небе около определённой звезды, то она вернётся в такое же положение около этой же звезды через один сидерический месяц. Средняя продолжительность сидерического месяца составляет 27,321661 дней (27 дней 7 часов 43 минуты 11,5 секунд).

За то время, за которое Луна совершит один оборот вокруг Земли (то есть, за один сидерический месяц), Земля сместится по своей орбите на значительное расстояние, поэтому, для того чтобы Луна заняла на земном небе то же самое изначальное положение относительно Солнца (то есть, чтобы завершился один синодический месяц), потребуется ещё примерно двое суток (Рис. Д-1). Средняя продолжительность синодического месяца составляет 29,530588 дней (29 дней 12 часов 44 минуты 02,8 секунды). В каком-то смысле сидерический месяц более «правильный», чем синодический, так как именно сидерический месяц соответствует интервалу времени, за которое Луна успевает совершить один оборот вокруг Земли, как это можно наблюдать в системе координат, привязанной к мировому пространству, то есть к находящимся на условно бесконечном расстоянии условно неподвижным звёздам.

Понятия *синодический* и *сидерический* применяются не только по отношению к лунным месяцам. Синодическими называются периоды, в течение которых те или иные объекты Солнечной системы, двигаясь по своим орбитам, возвращаются в то же самое

положение относительно Солнца, как это видит земной наблюдатель. Сидерическими же называются периоды, в течение которых те или иные объекты совершают один полный оборот вокруг своих центральных тел (спутники вокруг планет; планеты, астероиды и кометы вокруг Солнца) в неподвижной системе координат, привязанной к мировому пространству. С точки зрения гипотетического наблюдателя, находящегося на центральном теле, объекты, вращающиеся вокруг этого тела, возвращаются на небе в первоначальное положение относительно звёзд.

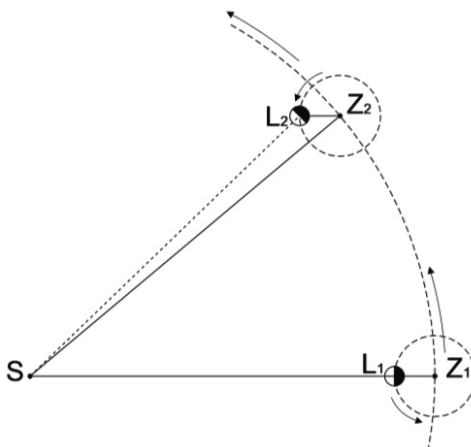


Рис. Д-1. Схема, поясняющая различие между сидерическим и синодическим месяцами Луны

L_1 – Луна в первоначальном положении; Z_1 – Земля в первоначальном положении;
 L_2 – Луна через один сидерический месяц (27,3 суток), то есть, после совершения одного полного орбитального оборота вокруг Земли; Z_2 – Земля через 27,3 суток;
 S – Солнце.
 Масштабы не соблюдены.

В первоначальный момент Луна находится на линии между Землёй и Солнцем (в фазе новолуния). К моменту, когда Луна совершит один полный орбитальный оборот вокруг Земли, наша планета существенно сместится по своей орбите вокруг Солнца. Для того, чтобы Луна снова оказалась на линии между Землёй и Солнцем, потребуется ещё примерно 2,2 суток. Таким образом, Луна снова окажется на линии между Землёй и Солнцем (в фазе новолуния) через 29,5 суток после первоначального момента.

Следует подчеркнуть также, что более «правильный» сидерический месяц не следует путать с периодом движения Луны от перигея (ближайшей к Земле точки лунной орбиты) до её следующего возвращения в точку перигея. Такой период называется *аномалистическим* месяцем. Если бы лунная орбита занимала неизменное положение в мировом пространстве, то сидерический и аномалистический месяцы были бы равны друг другу. Но на самом деле орбита Луны не занимает фиксированного положения в мировом пространстве и испытывает целый ряд сложных движений. Так, в частности, лунная орбита вращается в той плоскости, в которой она

расположена. Поэтому после того как пройдёт ровно один сидерический месяц, и Луна совершит один полный оборот вокруг Земли в системе координат, привязанной к мировому пространству, ей требуется ещё примерно пять с половиной часов, чтобы прийти в «убежавшую» точку перигея. Продолжительность аномалистического месяца составляет 27,554551 дней (27 дней 13 часов 18 минут 33,2 секунды). Попутно заметим, что и сама плоскость лунной орбиты не является фиксированной и вращается в мировом пространстве.

Мы преднамеренно столь подробно рассмотрели синодический, сидерический и аномалистический лунные месяцы для того, чтобы чётко понимать, что именно подразумевается под периодом обращения Луны вокруг Земли. Это не период от новолуния до новолуния (синодический месяц). И это не период движения Луны по своей орбите от перигея до перигея (аномалистический месяц). Период обращения Луны вокруг Земли – это именно период возвращения Луны в одну и ту же точку небесной сферы на фоне находящихся на условно бесконечном расстоянии условно неподвижных звёзд с точки зрения земного наблюдателя, то есть период обращения Луны вокруг Земли в системе координат, привязанной к мировому пространству (сидерический месяц).

Дополнение 2. Сидерический и синодический периоды осевого вращения Солнца, особенности вращения Солнца вокруг своей оси

Сидерическим периодом вращения Солнца вокруг оси называется период, за который Солнце совершает один осевой оборот в неподвижной системе координат, привязанной к мировому пространству, тогда как синодическим периодом вращения Солнца вокруг оси называется период, за который Солнце совершает один осевой оборот с точки зрения наблюдателя, находящегося на Земле, которая сама движется по орбите вокруг Солнца. По сути дела, сидерический период является реальным периодом осевого вращения Солнца, а синодический – кажущимся с точки зрения земного наблюдателя.

Поясним на условном примере, почему кажущийся синодический период осевого вращения Солнца длится дольше, чем реальный сидерический (Рис. Д-2). Допустим, в какой-то первоначальный момент времени Земля находится на своей орбите в положении Z_1 , и мы наблюдаем на Солнце группу пятен, с характерным крупным пятном, расположенным на «центральном» с точки зрения земного наблюдателя меридиане солнечного диска. После того, как Солнце совершит один полный оборот вокруг своей оси, находящиеся на его поверхности пятна окажутся (в системе координат, привязанной к мировому пространству) в том же самом положении, что и в первоначальный момент. Однако, Земля за это время существенно сместится по своей орбите и займёт на ней положение Z_2 , поэтому мы будем видеть те же самые пятна на солнечном диске уже не в том положении, в котором они были видны первоначально, а несколько левее. Солнцу же потребуется ещё примерно двое суток, чтобы повернуться к «убежавшей» Земле в точности той же стороной,

что и в первоначальном положении, и только тогда мы увидим группу пятен на солнечном диске точно так же, как мы наблюдали их первоначально.

В этом условном примере сделано допущение, что пока Солнце совершало один осевой оборот, пятна на его поверхности не меняли своего взаимного положения. В действительности, конфигурация солнечных пятен на поверхности Солнца меняется довольно быстро, да и, приповерхностные слои Солнца на разных широтах вращаются с разной скоростью. Тем не менее, приведённый условный пример очень удобен для понимания сути различия между сидерическим (реальным) и синодическим (кажущимся) периодами осевого вращения Солнца.

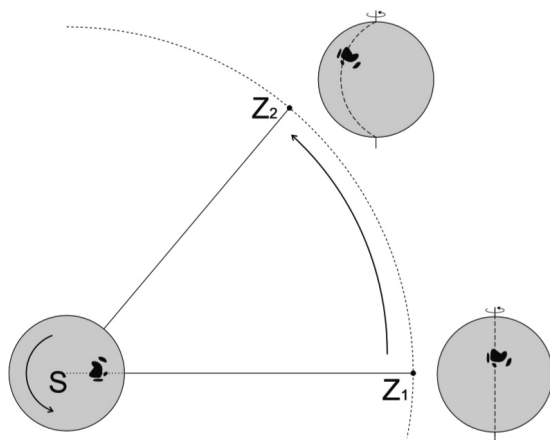


Рис. Д-2. Схема, поясняющая различие между сидерическим и синодическим периодами осевого вращения Солнца

S – Солнце в первоначальном положении и точно в таком же положении через 25,38 суток после одного полного осевого оборота;
 Z_1 – Земля в первоначальном положении;
 Z_2 – Земля в положении через 25,38 суток.

Справа от обоих положений Земли (Z_1 и Z_2) показан вид солнечного диска для земного наблюдателя в соответствующий момент времени. Тонкая пунктирная линия на диске – «центральный» с точки зрения земного наблюдателя меридиан Солнца в первоначальный момент времени. Пояснения в тексте. Масштабы не соблюдены.

Следует подчеркнуть, что вопрос о вращении Солнца вокруг своей оси является довольно сложным. Наиболее наглядно осевое вращение Солнца проявляется в уже упомянутом кажущемся перемещении пятен по его диску. Впервые осевое вращение Солнца было установлено в начале XVII века Галилео Галилеем, причём он же и определил, что период этого вращения составляет около одного месяца. Практически одновременно с Галилеем и независимо от него и друг от друга осевое вращение Солнца обнаружили английский астроном Томас Хэрриот и немецкие астрономы Йоханнес Фабрициус и Христофор Шейнер.

Кроме перемещения пятен осевое вращение Солнца выражается для земного наблюдателя и в кажущемся движении других деталей, наблюдаемых на солнечной поверхности или же вблизи неё. Наблюдаются также и ещё более тонкие явления, связанные с вращением Солнца. Так, благодаря эффекту Доплера на противоположных краях солнечного диска отмечается разное смещение спектральных

линий. Вследствие вращения Солнца один край солнечного диска приближается к Земле, поэтому спектральные линии такого края смещаются в синюю область спектра. Другой же край солнечного диска, наоборот, удаляется от Земли, из-за чего спектральные линии смещаются в красную часть спектра.

Сильнее всего эти эффекты выражены вблизи экватора Солнца. Так, точка на экваторе Солнца, наблюдаемая на приближающемся крае солнечного диска, приближается за счёт вращения Солнца к земному наблюдателю со скоростью примерно два километра в секунду, а точка на экваторе Солнца, находящаяся на удаляющемся крае солнечного диска с точно такой же скоростью удаляется от земного наблюдателя. По направлению от солнечного экватора к полюсам (и на север, и на юг) линейная скорость точки на поверхности Солнца уменьшается, и, соответственно, доплеровское смещение спектральных линий на краю солнечного диска также уменьшается. В районе солнечных полюсов линейная скорость точки за счёт вращения Солнца стремится к нулю, и соответствующий доплеровский эффект исчезает.

В результате наблюдений кажущегося движения солнечных пятен и других объектов на поверхности Солнца, а также благодаря спектральным исследованиям разных частей солнечного диска, установлено, что с широтой меняется не только линейная скорость точки на поверхности Солнца, но и угловая скорость его вращения. Иными словами, Солнце вращается не как единое целое и на разных широтах имеет разный период осевого вращения. Наиболее быстро вращается приэкваториальная зона, а по направлению к полюсам вращение становится значительно медленнее.

Что же в таком случае следует считать в качестве «истинного» периода вращения Солнца вокруг своей оси? Период осевого вращения всего Солнца в целом принято определять по периоду вращения связанного с ним магнитного поля, который в системе координат, привязанной к мировому пространству, составляет 25,3800 суток, что и считается сидерическим периодом осевого вращения всего Солнца в целом.

Продолжительность синодического периода осевого вращения Солнца при наблюдении с какой-либо планеты рассчитывается с помощью формулы:

$$\frac{1}{t_{\text{Синод}}} = \frac{1}{t_{\text{С}}} - \frac{1}{T_{\text{Пл}}}$$

где: $t_{\text{Синод}}$ – синодический (кажущийся) период осевого вращения Солнца (в земных сутках);

$t_{\text{С}}$ – сидерический (реальный) период осевого вращения Солнца (25,3800 земных суток);

$T_{\text{Пл}}$ – сидерический «год», то есть, период орбитального обращения планеты вокруг Солнца (в земных сутках).

С учётом того, что сидерический год нашей планеты равен 365,25636 суток, нетрудно посчитать, что для земного наблюдателя синодический период осевого вращения Солнца составляет с точностью до четвёртого знака после запятой 27,2752 суток. Аналогичные параметры для всех главных планет Солнечной системы и для карликовой планеты Плутон приведены в Таблице Д-1.

Периоды орбитального обращения планет вокруг Солнца
и синодические периоды осевого вращения Солнца при наблюдении с разных планет

Планета	Период обращения планеты вокруг Солнца (сутки) $T_{Пл}$	Синодический период осевого вращения Солнца при наблюдении с планеты (сутки) $t_{Синод}$
[1]	[2]	[3]
Меркурий	87,969	35,6717
Венера	224,701	28,6117
Земля	365,25636	27,2752
Марс	686,980	26,3536

Планета	Период обращения планеты вокруг Солнца (сутки) $T_{Пл}$	Синодический период осевого вращения Солнца при наблюдении с планеты (сутки) $t_{Синод}$
[1]	[2]	[3]
Юпитер	4 332,589	25,5296
Сатурн	10 759,22	25,4400
Уран	30 685,40	25,4010
Нептун	60 189,0	25,3907
Плутон	90 560,0	25,3872

Дополнение 3. О количестве оборотов Земли вокруг оси в течение одного года и причинах различия между звёздными и солнечными сутками

Для читателей далёких от астрономии следует пояснить, почему мы говорим, что Земля в течение одного года совершает не 365, а именно 366 оборотов вокруг своей оси. Дело в том, что Земля совершает один оборот вокруг своей оси в мировом пространстве (то есть, относительно условно неподвижных звёзд) не за 24 часа, а за 23 часа 56 минут 04,1 секунды – этот период называют звёздными сутками (звёздные сутки равны 0,99727 солнечных суток).

На пояснительной схеме (Рис. Д-3) показаны условно неподвижное Солнце (S), Земля в первоначальном положении (Z_1) и Земля в том положении, в котором она окажется после того, как совершит один полный оборот вокруг оси (Z_2). Пусть точка N_1 находится в том месте на поверхности земного шара, где Солнце в первоначальный момент наблюдается в зените.

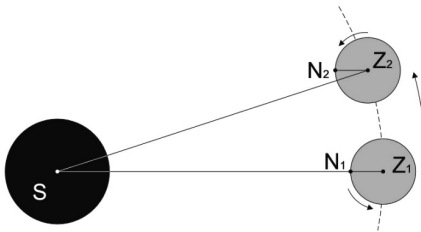


Рис. Д-3. Схема, поясняющая различие продолжительности периода обращения Земли вокруг своей оси (звёздных суток) и периода смены дня и ночи (солнечных суток)

S – Солнце в постоянном положении;
 Z_1 – Земля в первоначальном положении;
 Z_2 – Земля через одни звёздные сутки (23 часа 56 минут 04,1 секунды).

Пояснения в тексте.
Масштабы не соблюдены.

После того, как Земля совершит один оборот вокруг оси, то есть через 23 часа 56 минут 04,1 секунды, эта же самая точка на земной поверхности займёт в мировом пространстве положение N_2 . Очевидно, что отрезок Z_2N_2 строго параллелен отрезку Z_1N_1 . Но за это время Земля сместится по своей орбите на расстояние Z_1Z_2 , поэтому чтобы «смотреть» на Солнце в точности той же самой стороной, Земля должна ещё чуть-чуть повернуться вокруг своей оси – на это потребуется примерно четыре минуты. Именно поэтому смена дня и ночи происходит на нашей планете не за 23 часа 56 минут 04,1 секунды (период её истинного оборота вокруг оси), а за 24 часа – этот период называют солнечными сутками или просто сутками.

Разница между солнечными и звёздными сутками совсем невелика, однако за год успевает накопиться один «лишний» оборот, и поэтому в году 365 солнечных суток, но 366 звёздных суток (с точностью до целых чисел). Более точно (с точностью до пятого знака после запятой) следовало бы сказать, что в году 365,25636 солнечных суток, но 366,25636 звёздных суток.

Дополнение 4. Приливные взаимодействия между планетами и их спутниками

Сущность приливных взаимодействий между планетами и их спутниками рассмотрим с некоторыми упрощениями на примере Земли и Луны. Для начала коротко обсудим, какое воздействие оказывает Луна на Землю. Очевидно, что Луна своей гравитацией притягивает Землю, хотя и гораздо слабее, чем Земля притягивает Луну. Очевидно также, что сила гравитационного притяжения Луны максимальна в той точке земной поверхности, которая находится ближе всего к центру масс Луны, то есть в той точке, откуда в данный момент Луна видна в зените. Очевидно и то, что сила гравитационного притяжения Луны минимальна в наиболее удалённой от неё диаметрально противоположной точке земной поверхности. Благодаря различию сил гравитационного притяжения Луны в этих двух противоположных точках земной поверхности, наша Земля немного растягивается вдоль линии, соединяющей центры масс Луны и Земли. В результате на поверхности Земли образуются два «горба» (Рис. Д-4). Приливные «горбы» наиболее явно выражены в Мировом океане, но на самом деле приливные эффекты проявлены и в атмосфере, и в твёрдом теле Земли.

Несмотря на то что Земля вращается вокруг своей оси, приливные «горбы», расположенные на её поверхности, сохраняют свою ориентировку относительно Луны, которая сама движется по своей орбите. При этом Земля вращается вокруг своей оси значительно быстрее, чем Луна вокруг Земли, поэтому получается, что приливные «горбы» довольно быстро «бегут» по земной поверхности в сторону противоположную вращению Земли, тем самым немного замедляя её вращение.

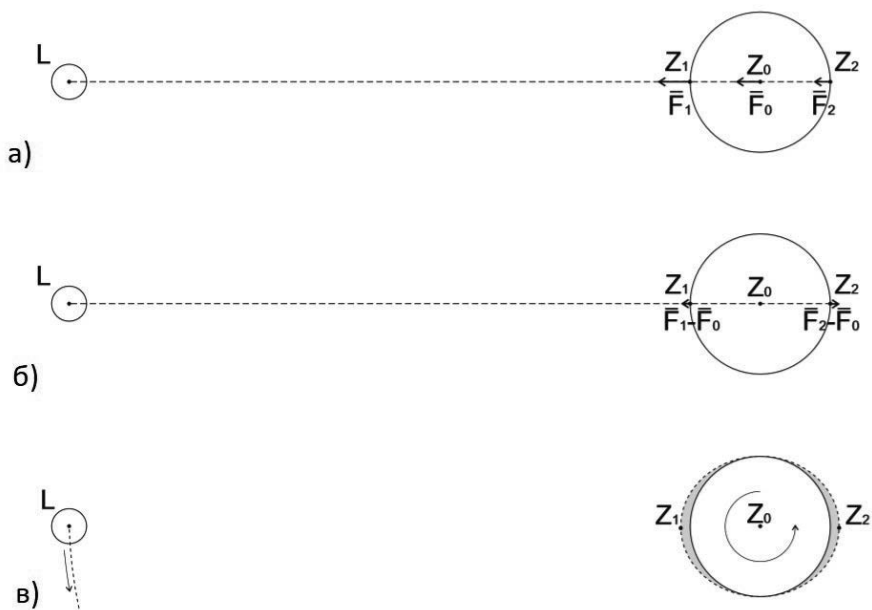


Рис. Д-4. Схема, объясняющая образование приливных «горбов» и их движение по земной поверхности

L – Луна; Z_1 – самая близкая к центру масс Луны точка земной поверхности;
 Z_0 – центр масс Земли; Z_2 – самая удалённая от центра масс Луны точка земной поверхности.
 Масштабы не соблюдены.

а) Сила гравитационного притяжения Луны, которую испытывает единичная масса, различается в разных точках объёма и поверхности земного шара: F_1 F_0 F_2 .

б) В самой близкой и самой далёкой от центра масс Луны точках земной поверхности единичная масса испытывает по сравнению с центром масс Земли действие растягивающих сил $(F_1 - F_0)$ и $(F_2 - F_0)$, соответственно, что приводит к образованию двух приливных «горбов», направленных в разные стороны вдоль линии, соединяющей центры масс Земли и Луны.

в) Земля совершает один оборот вокруг своей оси намного быстрее, чем Луна совершает один орбитальный оборот вокруг Земли. В силу этого приливные «горбы» довольно быстро перемещаются по поверхности Земли в сторону, противоположную её вращению.

На самом деле приливное воздействие на нашу планету оказывает не только Луна, но и Солнце, поэтому по земной поверхности бегут не только два «лунных» горба, но и два «солнечных», которые также оказывают тормозящее воздействие на осевое вращение Земли. Для упрощения объяснения мы дальше будем говорить только о «лунных» приливах, хотя реальные приливы, конечно же, являются суперпозицией «лунных» и «солнечных». «Лунные» приливы, кстати говоря, сильнее, чем «солнечные». Несмотря на то, что Солнце притягивает Землю гораздо сильнее, чем

Луна, но более сильное растягивающее воздействие на Землю, приводящее к образованию приливных горбов, оказывает именно Луна. Дело в том, что Солнце находится от нас гораздо дальше, чем Луна, поэтому разница между силами его гравитационного притяжения в различных точках земной поверхности относительно невелика, а значит, и меньше их растягивающее воздействие.

Идея о приливном замедлении осевого вращения Земли была впервые высказана в восемнадцатом веке немецким философом Иммануилом Кантом, а в настоящее время торможение вращения Земли является хорошо доказанным научным фактом. Продолжительность земных суток испытывает некоторые сезонные и более долгосрочные колебания, но в целом систематически увеличивается. За последние три века, когда проводились высокоточные астрономические измерения, средний темп увеличения продолжительности земных суток составлял примерно 2,3 миллисекунды за 100 лет. Эта величина может показаться совсем небольшой, но даже её приходится учитывать в практической жизни, ведь каждые сутки разница во времени накапливается, поэтому время от времени приходится вводить поправки в передаваемые по всему миру сигналы точного времени.

В более долгосрочном плане увеличение продолжительности земных суток проявляется в том, что географические пункты, в которых согласно древним историческим хроникам за последние 27 веков в разных районах мира наблюдались затмения, имеют систематический сдвиг по долготе по сравнению с географическими пунктами в которых согласно современным расчётам эти затмения должны были бы наблюдаться при условии постоянства скорости вращения Земли. Анализ этих несоответствий показывает, что средний темп увеличения продолжительности земных суток составлял за это время примерно 1,7 миллисекунды за 100 лет. Если экстраполировать эту величину на большие интервалы геологического времени, то увеличение продолжительности суток составит 17 секунд за один миллион лет, или почти полчаса за сто миллионов лет.

Но раз относительно маленькая Луна оказывала и оказывает такое заметное в масштабе геологического времени влияние на вращение Земли, то очевидно, что гораздо более массивная Земля оказывала гораздо более сильное тормозящее воздействие на вращение Луны. Первоначально Луна вращалась с гораздо большей скоростью, чем сейчас (с какой именно науке неизвестно, но в любом случае скорость её вращения была гораздо больше). Приливные «горбы», деформирующие твёрдое тело Луны, безостановочно «бежали» в направлении противоположном её вращению, и тем самым замедляли его.

Так продолжалось до тех пор, пока период осевого вращения Луны не стал равным периоду её орбитального вращения вокруг Земли. Приливные «горбы» и в этот момент продолжали смотреть так же, как и раньше: один в направлении Земли, а другой в противоположном направлении. Но при этом они уже не «бежали» по поверхности Луны, а заняли на ней какое-то фиксированное положение, а значит и торможение осевого вращения прекратилось. Произошла синхронизация осевого вращения с орбитальным, которая, один раз наступив, может длиться дальше уже неопределённо долгое время – миллиарды и миллиарды лет.

Аналогичные процессы происходили и со многими другими спутниками других планет Солнечной системы. Первоначальная скорость осевого вращения каждого спутника, в принципе, могла быть очень разной. Допустим, что первоначально и планета, и спутник достаточно быстро вращались вокруг своих осей, а период обращения спутника вокруг планеты был больше, чем период его осевого вращения. Такой случай, по всей вероятности, является наиболее типичным для первоначальной стадии существования любой или почти любой частной системы планета-спутник. Но благодаря приливным взаимодействиям между планетой и спутником, осевое вращение обоих тел будет замедляться. Так как приливное воздействие планеты на спутник во всех случаях значительно сильнее, чем приливное воздействие спутника на планету, то замедление осевого вращения спутника происходит значительно быстрее, чем замедление осевого вращения планеты. Через какое-то время наступает точная синхронизация осевого и орбитального вращения спутника, в результате чего спутник будет постоянно смотреть на свою планету одной и той же стороной. Такая синхронизация в общем случае происходит тем быстрее, чем ближе находится спутник к центральному телу. Именно поэтому практически все ближние спутники у планет Солнечной системы характеризуются синхронизированным орбитальным и осевым вращением.

К числу спутников, у которых установлено синхронизированное орбитальное и осевое вращение, помимо нашей Луны относятся: оба спутника Марса (Фобос и Деймос); восемь ближайших спутников Юпитера; двадцать три спутника Сатурна (двадцать два ближайших, а также двадцать четвёртый по удалённости – Япет); восемнадцать ближайших спутников Урана; восемь ближайших спутников Нептуна. Каждый из этих спутников, как и Луна, постоянно смотрит на свою планету одной и той же стороной. Что касается Гипериона, двадцать третьего по удалённости спутника Сатурна, то он обладает очень необычным неравномерным осевым вращением, причиной которого являются резонансные гравитационные взаимодействия с соседним Титаном, самым крупным спутником в системе Сатурна.

Благодаря приливным взаимодействиям со своим спутником происходит и замедление вращения самой планеты. При сопоставимости масс спутника и планеты этот эффект становится заметным, и рано или поздно система планета-спутник может прийти к полной синхронизации. И тогда уже не только спутник будет вращаться вокруг своей оси за тот же самый период, за который спутник вращается вокруг планеты, но и сама планета будет вращаться вокруг своей оси за тот же самый период. Такого состояния в Солнечной системе пока достигла только система Плутон-Харон. В настоящую эпоху Плутон совершает один оборот вокруг своей оси за 6 суток 9 часов 17 минут 34 секунды (6,3872 суток), и точно за такой же интервал времени Харон совершает один оборот вокруг Плутона и один оборот вокруг собственной оси. В итоге не только Харон постоянно смотрит на Плутон одной и той же стороной, но и Плутон также смотрит на Харон одной и той же стороной. Процесс синхронизации в случае системы Плутон-Харон уже зашёл до конца.

Что же касается системы Земля-Луна, то она достигнет полной синхронизации ещё очень нескоро. Существуют различные расчётные модели дальнейшей приливной эволюции системы Земля-Луна, но в любом случае до её полной синхронизации пройдут ещё миллиарды лет.

В завершение ещё раз отметим, что приведённое объяснение приливных взаимодействий является несколько упрощённым и оно предназначено прежде всего для читателей далёких от астрономии, чтобы дать возможность представлять эти взаимодействия хотя бы в самых общих чертах. В частности, в формировании приливных «горбов» в Мировом океане важнейшую роль играют горизонтальные составляющие растягивающих сил, действующие практически по всему объёму водной массы и направленные в сторону вершин обоих «горбов». Желающие разобраться с вопросом о приливных взаимодействиях более детально могут сделать это самостоятельно, используя многочисленную астрономическую литературу.

Дополнение 5. Особенности формы планетоподобных спутников и параметры минимальных сечений планетоподобных спутников, наиболее заметно отличающихся по своей форме от шара

Планетоподобные спутники имеют сферическую форму, однако назвать их шарами можно только в самом первом приближении. Более точно форма этих спутников описывается эллипсоидами вращения, сплюснутыми в той или иной степени, или даже трёхосными эллипсоидами

У эллипсоидов вращения есть только два характерных размера: экваториальный диаметр a и полярный диаметр c . Экваториальное сечение эллипсоида вращения представляет собой круг, поэтому все экваториальные диаметры, проведённые в любом направлении, одинаковы. При описании космических тел, имеющих форму эллипсоидов вращения, указывают ещё и их средний диаметр d , который можно определить, как диаметр идеального шара, объём которого равен объёму соответствующего эллипсоида (не следует путать средний диаметр d со средним арифметическим между экваториальным и полярным диаметрами $(a+c):2$).

Степень сплюснутости эллипсоидов вращения характеризуется так называемым полярным сжатием f , которое равно отношению разности экваториального и полярного диаметров к экваториальному диаметру:

$$f = \frac{a - c}{a},$$

где: a – экваториальный диаметр,

c – полярный диаметр.

У сплюснутых эллипсоидов экваториальный диаметр является максимальным, а полярный – минимальным. Заметим, что обычно при определении полярного сжатия

используются не экваториальный и полярный диаметры, а соответствующие радиусы, но выполненная здесь замена радиусов на диаметры по существу ничего не меняет.

Полярное сжатие Луны составляет 0,001208 (или 1/827,67). Экваториальный диаметр Луны равен 3 476,2 км, полярный – 3 472,0 км, а разница между полярным и экваториальным диаметрами Луны составляет лишь 4,2 км.

Что касается трёхосных эллипсоидов, то у них есть уже три характерных размера: большой диаметр a , малый диаметр c и промежуточный диаметр b . Эти три диаметра взаимно перпендикулярны. Если взять сечение, перпендикулярное любому из этих трёх диаметров, то оно будет иметь форму эллипса. В частности, форму эллипса имеет и сечение, перпендикулярное малому диаметру c . Большая ось этого эллипса представляет собой большой диаметр эллипсоида a , а малая ось этого эллипса – промежуточный диаметр b . Длина промежуточного диаметра b может иметь любое значение, большее, чем длина малого диаметра c , но при этом меньшее, чем длина большого диаметра a .

Не следует путать промежуточный диаметр b со средним диаметром d . Средним диаметром трёхосного эллипсоида, как и средним диаметром эллипсоида вращения, называют диаметр такого шара, объём которого равен объёму соответствующего эллипсоида. В общем случае промежуточный диаметр b и средний диаметр d не равны друг другу, хотя в частных случаях они могут быть одинаковыми или очень близкими.

Десять планетоподобных спутников главных планет имеют форму эллипсоидов вращения, при этом девять из них (Луна, Европа, Ганимед, Каллисто, Титан, Умбриэль, Титания, Оберон и Тритон) по своей форме очень близки к шару. Исключение составляет только спутник Сатурна Япет, который является довольно сплюснутым. Экваториальный диаметр Япета примерно на 4,8% больше полярного, так что некоторую сплюснутость этого спутника можно заметить при внимательном взгляде на него даже без всяких угломерных приборов.

Остальные восемь планетоподобных спутников главных планет (Ио, Мимас, Энцелад, Тефия, Диона, Рея, Миранда и Ариэль) скорее являются трёхосными эллипсоидами. Правда, у Ио, Дионы, Реи и Ариэля различие между большим и малым диаметрами составляет лишь десятые доли процента, то есть форма этих четырёх спутников всё-таки близка к шарообразной. Зато у Энцелада, Тефии и Миранды различие между большим и малым диаметрами составляет уже несколько процентов, а у Мимаса – даже девять процентов. Человек с хорошим глазомером, если будет смотреть на Мимас с соответствующих ракурсов, даже при беглом взгляде заметит, что это космическое тело не является шаром.

Характерные диаметры спутников, имеющих форму трёхосного эллипсоида, а также характерные диаметры Япета приведены в Таблице Д-2.

Все без исключения планетоподобные спутники характеризуются синхронизированным осевым и орбитальным вращением, то есть, подобно нашей Луне, всегда смотрят на свою планету одной и той же стороной. Что касается тех планетоподобных спутников, которые имеют форму трёхосного эллипсоида, то во всех случаях малый диаметр c является полярным, а большой и промежуточные диаметры находятся в экваториальной плоскости спутника, при этом большой диаметр a

постоянно направлен на планету (соответственно, промежуточный диаметр b направлен в перпендикулярном направлении). Иными словами, любой из этих спутников всегда ориентирован своей вытянутостью в сторону планеты, а гипотетический наблюдатель, находящийся на планете, будет видеть спутник в его минимальном сечении, которое имеет форму эллипса. Одной осью этого эллиптического минимального сечения является малый (полярный) диаметр спутника c , а второй осью – его промежуточный диаметр b .

Таблица Д-2.

Характерные диаметры планетоподобных спутников, имеющих форму трёхосного эллипсоида или заметно сплюснутого эллипсоида вращения

Спутник	Характерные диаметры спутника (км)			Средний диаметр минимального сечения (км) $d' = \sqrt{bc}$
	большой (экваториальный, направленный на планету) a	промежуточный (экваториальный, перпендикулярный направлению на планету) b	малый (полярный) c	
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник Юпитера				
Ио	3 659	3 638	3 632	3 635,0
Спутники Сатурна				
Мимас	416	394	382	388,0
Энцелад	514	502	496	499,0
Тефия	1 076	1 056	1 052	1 054,0
Диона	1 126	1 122	1 120	1 121,0
Рея	1 530	1 526	1 524	1 525,0
Япет*	1 492	1 492	1 424	1 457,6
Спутники Урана				
Миранда	480,8	468,4	465,8	467,1
Ариэль	1 162,2	1 155,8	1 155,4	1 155,6

* - Япет имеет форму сплюснутого эллипсоида вращения, поэтому его экваториальные диаметры a и b равны между собой.

Кажущийся (видимый) средний диаметр таких спутников при наблюдении со своей планеты, строго говоря, будет определяться не средним диаметром спутника как такового, а средним диаметром его минимального сечения, которое собственно и обращено к гипотетическому наблюдателю. Значения средних диаметров минимальных сечений для «трёхосных» планетоподобных спутников и для Япета приведены в последней колонке Таблицы Д-2.

Средний диаметр минимального сечения, обращённого к планете и имеющего форму эллипса, можно определить, как диаметр круга равного по площади этому эллипсу. С учётом того, что площадь минимального эллиптического сечения

$$S = \pi bc/4,$$

где: b – промежуточный диаметр эллипсоида,

c – малый (полярный) диаметр эллипсоида,

а площадь круга

$$S = \pi d'^2/4,$$

где: d' – диаметр круга,

очевидно, что искомый диаметр круга, равного по площади минимальному сечению трёхосного эллипсоида, будет составлять

$$d' = \sqrt{bc}.$$

Впрочем, у всех конкретных «трёхосных» планетоподобных спутников различие между средним диаметром спутника d и средним диаметром его минимального сечения d' , обращённого к гипотетическому наблюдателю на планете, довольно невелико. Наиболее проявлено это различие у Мимаса, у которого оно составляет около 2,2%.

Дополнение 6. Изменение углового диаметра лунного диска в зависимости от высоты Луны над горизонтом и положения наблюдателя на земной поверхности

Как уже неоднократно говорилось, за расстояние между космическими телами в астрономии обычно принимается расстояние между центрами их масс. Но так как мы наблюдаем другие космические объекты не из центра земного шара, а с его поверхности, то реальное расстояние от точки, где находится наблюдатель, до центра масс другого космического тела будет отличаться от «табличного». К тому же оно будет разным в зависимости от того, где именно на земной поверхности находится наблюдатель. Из этого следует, что угловой диаметр космического тела, одновременно наблюдаемого из разных точек земной поверхности, тоже будет несколько различаться. Рассмотрим этот вопрос подробнее на примере наблюдения Луны.

Представим, что наблюдение производится в тот момент, когда Луна находится на своём среднем расстоянии от Земли $L_{ЗЛ\text{сред}} = 384\,400$ км, что, кстати говоря, обязательно бывает дважды в течение каждого лунного месяца. Подчеркнём ещё раз, что указанное расстояние (384 400 км) представляет собой расстояние именно между центрами масс Земли и Луны, тогда как реальное расстояние до центра Луны от какой-либо точки на земной поверхности, где находится наблюдатель, может меняться в довольно широких пределах.

Представим теперь, что наблюдатель находится в этот момент в одной из двух точек, расположенных на экваторе нашей планеты: либо в точке N_1 , из которой он видит Луну в зените, либо в точке N_2 , из которой он видит Луну на горизонте (Рис. Д-5).

Очевидно, что реальное расстояние до центра масс Луны будет минимальным для наблюдателя, находящегося в точке N_1 , а максимальным – для наблюдателя, находящегося в точке N_2 . Соответственно, угловой диаметр лунного диска, наоборот, будет максимальным для наблюдателя, находящегося в точке N_1 , и минимальным – для наблюдателя, находящегося в точке N_2 .

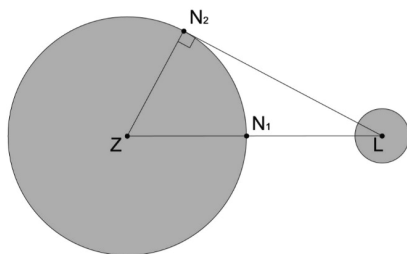


Рис. Д-5. Схема, поясняющая различие расстояний между центром масс Луны и наблюдателями, находящимися в различных точках земной поверхности

Z – центр масс Земли;
 L – центр масс Луны;
 N_1 – точка, из которой наблюдатель видит Луну в зените;
 N_2 – точка, из которой наблюдатель видит Луну на горизонте.

Пояснения в тексте. Масштабы не соблюдены.

В случае, если «табличное» расстояние между центрами масс Земли и Луны составляет, как мы условились, 384 400 км, то для наблюдателя, находящегося в точке N_1 , реальное расстояние до центра масс Луны будет равно 378 022 км, а для наблюдателя, находящегося в точке N_2 , оно будет равно 384 347 км.

Чтобы найти расстояние N_1L , надо просто из «табличного» расстояния между центрами масс Земли и Луны ZL (384 400 км) вычесть экваториальный радиус Земли N_1Z (6 378 км):

$$N_1L = ZL - N_1Z = 384\,400 \text{ км} - 6\,378 \text{ км} = 378\,022 \text{ км}.$$

Рассчитать расстояние N_2L тоже не представляет большого труда. Когда Луна находится строго на горизонте, то линия N_2L , соединяющая центр масс Луны и точку на экваторе, где находится наблюдатель, будет по определению перпендикулярна вертикали N_2Z , проведённой из этой точки вниз. В том случае, когда наблюдатель находится на экваторе, вертикаль, направленная вниз, попадает точно в центр масс Земли. Таким образом, центр масс Земли Z, точка на экваторе N_2 , в которой в данный момент находится наш наблюдатель, и центр масс Луны L – эти три точки представляют вершины прямоугольного треугольника ZN_2L . Гипотенуза ZL равна расстоянию между центрами масс Земли и Луны (384 400 км), малый катет N_2Z равен экваториальному радиусу Земли (6 378 км), а большой катет N_2L , который равен расстоянию от точки, где находится наблюдатель, до центра масс Луны легко рассчитать по теореме Пифагора:

$$N_2L = \sqrt{ZL^2 - N_2Z^2} = \sqrt{384\,400^2 - 6\,378^2} \text{ км} = 384\,347 \text{ км}.$$

В соответствии с найденными значениями расстояний $N_1L = 378\,022$ км и $N_2L = 384\,347$ км, для наблюдателя, находящегося на экваторе в точке N_1 , угловой диаметр лунного диска будет равен $31'36,0''$, тогда как для наблюдателя, находящегося в точке N_2 , он будет равен $31'04,8''$. Как видим, угловой диаметр лунного диска при

одновременном наблюдении из разных точек земной поверхности может различаться примерно на половину угловой минуты. Это, конечно, совершенно незаметно на глаз, но легко определяется с помощью угломерных оптических приборов.

В этой ситуации, когда угловой диаметр одного космического объекта меняется в зависимости от местонахождения наблюдателя на поверхности другого космического объекта, невозможно выбрать какое-то одно самое «правильное» значение, будь то максимальное, минимальное, среднее или попадающее в указанный диапазон какое-либо ещё. Все они являются правильными, но при этом ни одно не является предпочтительным. Более того, реальное расстояние от наблюдателя до центра масс Луны и соответствующие этому расстоянию угловые размеры Луны постоянно изменяются не только из-за движения Луны по своей орбите, но и из-за вращения самой Земли. Так, например, если, находясь на экваторе, мы в данный момент видим Луну в зените, то всего лишь через шесть часов с небольшим мы, оставаясь на земной поверхности на том же самом месте, будем видеть её уже на горизонте, при этом угловой диаметр Луны уменьшится за это время примерно на половину угловой минуты.

Проще всего выйти из этой неопределённой ситуации, если принять в качестве «правильного» такое значение углового диаметра Луны, которое получается при наблюдении с того расстояния, которое мы называем расстоянием от Земли до Луны. Последняя фраза, если её вырвать из контекста, может показаться самоочевидной и даже бессмысленной, но ещё раз напомним, что расстоянием между космическими телами в астрономии называют расстояние между центрами их масс, тогда как в реальности мы наблюдаем Луну не из центра земного шара, а из какой-то конкретной точки на его поверхности. «Правильное», или лучше сказать «табличное» значение углового диаметра Луны, когда она удалена на своё среднее расстояние от Земли $L_{\text{ЗЛсред}} = 384\,400$ км, составляет, как было указано выше, $31'04,5''$. Подобные по смыслу «табличные» значения удобно использовать при различных сопоставлениях.

Как видим, «табличное» значение среднего углового диаметра лунного диска ($31'04,5''$), рассчитанное для «табличного» среднего расстояния от Земли до Луны $L_{\text{ЗЛсред}} = 384\,400$ км, вообще не попадает в реальный диапазон изменения углового диаметра лунного диска при его наблюдении из разных точек земной поверхности ($31'04,8'' \div 31'36,0''$). Впрочем, «табличное» значение ($31'04,5''$) очень близко к реальному значению при наблюдении Луны, находящейся на горизонте ($31'04,8''$), что и неудивительно, ведь «табличное» расстояние $L_{\text{ЗЛсред}} = 384\,400$ км очень близко к максимально возможному в этот момент времени реальному расстоянию $N_2L = 384\,347$ км.

Приведённый выше диапазон изменения углового диаметра лунного диска в зависимости от положения наблюдателя на земной поверхности ($31'04,8'' \div 31'36,0''$) рассчитан при условии, что наблюдатель находится на экваторе (напомним, что речь идёт только о случае, когда Луна находится на своём «табличном» среднем расстоянии от Земли $L_{\text{ЗЛсред}} = 384\,400$ км). А каким будет этот диапазон при условии, что наблюдатель может находиться не только на экваторе, а вообще в любой точке земной поверхности? Оказывается, что этот диапазон с приведённой выше точностью до одного знака после запятой останется тем же самым: $31'04,8'' \div 31'36,0''$.

Что касается наблюдения Луны в зените, то она бывает видна в зените не только с линии экватора, но и в пределах широкой полосы от $28^{\circ}45'$ с.ш. до $28^{\circ}45'$ ю.ш. (в более высоких широтах Луна не бывает видна в зените никогда). При этом, если наблюдатель, который видит Луну в зените, находится не на экваторе, а на какой-то другой широте, то реальное расстояние до центра масс Луны будет несколько больше. В этом случае, чтобы найти реальное расстояние до центра масс Луны, надо вычсть из «табличного» расстояния 384 400 км, уже не величину экваториального (то есть, максимально возможного) радиуса 6 378 км, а величину какого-то другого, заведомо меньшего радиуса. Из этого очевидно, что угловой диаметр лунного диска всё-таки будет максимально возможным, если наблюдатель видит Луну в зените и находится при этом именно на экваторе.

А вот увидеть Луну на горизонте, можно из любой точки земной поверхности, то есть, находясь на любой широте, в том числе и на полюсах. При этом, если наблюдатель находится именно на полюсе, то реальное расстояние до центра масс Луны, строго говоря, является максимальным. Его легко рассчитать опять-таки с помощью теоремы Пифагора. Но для этого в качестве малого катета N_2Z (Рис. Д-5) надо взять не экваториальный радиус Земли (6 378 км), а её полярный радиус (6 357 км). Большой катет N_2L , то есть реальное расстояние до центра масс Луны удлинится при этом по сравнению с наблюдением с экватора всего лишь на 0,35 км и составит при округлении до километров всё те же 384 347 км, а угловой диаметр лунного диска уменьшится при этом всего лишь на 0,0017". Это совершенно ничтожная величина, которая даже меньше, чем разрешающая способность самых мощных современных телескопов. А для наблюдателя, который видит Луну на горизонте и при этом находится на какой-то промежуточной между экватором и полюсом широте, эта разница будет ещё меньше.

Так что, во всех точках земного шара, где в данный момент Луна наблюдается на горизонте, угловой диаметр лунного диска будет практически совершенно одинаковым ($31'04,8''$). Следует ещё раз напомнить, что все вышеприведённые значения угловых размеров лунного диска в зените и на горизонте справедливы только для той ситуации, когда Луна находится на своём среднем расстоянии от Земли $L_{ЗПеред}$, то есть расстояние между их центрами масс составляет 384 400 км.

Внимательного читателя возможно насторожило утверждение, что видимый угловой диаметр лунного диска будет больше, когда Луна наблюдается в зените, чем тогда, когда она находится на горизонте. Из этого следует, что Луна увеличивается в своих видимых угловых размерах по мере того, как она поднимается над горизонтом. «Но ведь это же совершенно не так! – воскликнет внимательный читатель, – хорошо известно, что Луна у горизонта выглядит огромной, а когда она поднимается выше, она кажется нам значительно меньшей». Но в том то и дело, что это нам только кажется. Большая Луна у горизонта и маленькая высоко в небе – это всего лишь обман зрения, который имеет даже собственное научное название «иллюзия Луны» – тот редкий случай, когда надо сказать самому себе: «Не верь глазам своим». На самом же деле, чем выше Луна над горизонтом, тем больше её угловые размеры – кто продолжает сомневаться, может хорошей лунной ночью провести соответствующие измерения с помощью оптических угломерных приборов.

Следует также оговориться, что когда мы видим диск Луны или Солнца непосредственно около горизонта, то форма этого диска, как правило, становится сплюснутой или вообще искажается самым причудливым образом. Это происходит за счёт преломления световых лучей при прохождении через атмосферу, но эти оптические эффекты мы не будем рассматривать вообще. Все описания даны для условной ситуации, как если бы атмосфера Земли не вносила никаких искажений.

Разумеется, при наблюдении из разных точек земной поверхности угловой диаметр должен меняться не только у Луны, но и у любых других космических тел. Ведь очевидно, что когда один наблюдатель видит какое-либо космическое тело в зените, то расстояние до этого космического тела будет ближе, чем для другого наблюдателя, который в этот же момент наблюдает это же космическое тело на горизонте. Однако, чем дальше от нас находится наблюдаемый космический объект, тем меньше будут соответствующие поправки, и уже в случае Солнца, не говоря уже о более далёких объектах, эти поправки будут совершенно ничтожными и ими можно полностью пренебречь.

Так, угловой диаметр Солнца при его наблюдении с «табличного» среднего расстояния от Земли $L_{\text{Зср}} = 149\,598\,261$ км составляет $31'58,5''$. Представим, что наш наблюдатель в этот момент находится на экваторе и видит Солнце в зените. Реальное расстояние до центра Солнца будет меньше «табличного» на величину экваториального радиуса Земли (6 378 км), то есть оно будет равно

$$149\,598\,261 \text{ км} - 6\,378 \text{ км} = 149\,591\,883 \text{ км}.$$

На таком расстоянии угловой диаметр солнечного диска будет равен... всё тому же значению $31'58,5''$. На самом деле по сравнению с наблюдением с «табличного» расстояния угловой диаметр Солнца, конечно же, чуть-чуть вырастет (примерно на восемь сотых угловой секунды), но при округлении до первого знака после запятой это никак не скажется на результате.

Да и в случае Луны эти различия можно заметить лишь с помощью хороших оптических угломерных приборов. Так стоило ли тогда вообще в аспекте рассматриваемой проблемы уделять столько внимания этому вопросу? Наверно, если бы в настоящей работе речь шла только о Луне и о Солнце, весь этот экскурс был бы совершенно не нужен – самое большее, было бы достаточно ограничиться кратким комментарием насчёт Луны. Но далее, когда будут обсуждаться угловые размеры спутников планет-гигантов, аналогичные по своему геометрическому смыслу поправки в ряде случаев будут уже очень существенными.

Дополнение 7. Угловые диаметры Солнца и планетоподобных спутников при наблюдении с других планет

Рассмотрим вначале, как определить диапазоны изменения угловых диаметров солнечного диска на небе других планет, у которых есть крупные планетоподобные

спутники. Помимо нашей Земли к таким планетам относятся все планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун), а также карликовая планета Плутон.

Максимальные угловые размеры на небе каждой планеты солнечный диск имеет тогда, когда планета находится в перигелии своей орбиты, то есть расстояние от планеты до Солнца минимально, а гипотетический наблюдатель находится на экваторе своей планеты и видит при этом Солнце в зените. Расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс Солнца будет равно в этот момент «табличному» расстоянию от Солнца до планеты в перигелии за вычетом экваториального радиуса планеты (под «табличным» расстоянием, как это уже обсуждалось в Дополнении 6, подразумевается расстояние между центрами масс космических тел). Это минимально возможное расстояние, которое может быть между наблюдателем, находящимся где-либо на поверхности планеты, и центром масс Солнца. Средний диаметр Солнца известен (1 391 400 км), и дальше остаётся только рассчитать угловой диаметр солнечного диска с помощью тригонометрических формул. Так как использованное при расчётах расстояние до центра Солнца является минимально возможным, то полученный угловой диаметр солнечного диска, наоборот, будет максимально возможным. Результаты расчётов приведены в пятой колонке Таблицы Д-3.

Таблица Д-3.

Максимально возможные угловые диаметры солнечного диска на небе планет, имеющих крупные планетоподобные спутники

Планета	Расстояние от Солнца до планеты в перигелии	Экваториальный радиус планеты	Минимально возможное расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс Солнца [2] – [3]	Максимально возможный угловой диаметр солнечного диска (в перигелии планеты)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Земля	147 098,290	6,378	147 091,912	32'31,1"
Юпитер	740 520	71,492	740 448,5	6'27,6"
Сатурн	1 352 550	60,268	1 352 489,7	3'32,2"
Уран	2 741 300	25,559	2 741 274,4	1'44,7"
Нептун	4 444 450	24,764	4 444 425,2	1'04,6"
Плутон	4 436 820	1,188	4 436 818,8	1'04,7"

* - минимальное расстояние от Солнца до Плутона несколько меньше, чем минимальное расстояние от Солнца до Нептуна. Иногда Плутон может находиться ближе к Солнцу, чем Нептун. Последний раз это имело место с 1979 по 1999 год.

Впрочем, если даже выполнять вычисления не так строго и принимать для расчётов просто «табличные» значения расстояния от Солнца до планеты в перигелии,

указанные во второй колонке, то значения максимального углового диаметра солнечного диска с точностью до одной десятой секунды во всех случаях будут теми же самыми. Расхождения между значениями углового диаметра солнечного диска, вычисленные с использованием значений расстояния, указанных во второй и в четвёртой колонках Таблицы Д-3, будут столь малы, что самое большее могут составить лишь сотые доли угловой секунды.

Минимальные же угловые размеры на небе каждой планеты солнечный диск имеет тогда, когда планета находится в афелии своей орбиты, то есть расстояние от планеты до Солнца максимально, а гипотетический наблюдатель находится на полюсе планеты и видит Солнце на горизонте. Расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс Солнца можно строго вычислить по теореме Пифагора, подобно тому, как это было описано в Дополнении 6 при вычислении расстояния от наблюдателя до центра масс Луны. Следует, однако, подчеркнуть, что полученные таким образом значения максимально возможных расстояний, которые могут быть между наблюдателем, находящимся где-либо на поверхности планеты, и центром масс Солнца, практически равны «табличным» значениям расстояния от Солнца до планеты в афелии. Ни в одном случае разница между этими значениями не составляет больше трёх километров! Так что для расчётов минимально возможного углового диаметра солнечного диска с помощью тригонометрических формул можно смело использовать «табличные» значения расстояний от Солнца до планеты в афелии, указанные во второй колонке Таблицы Д-4.

Таблица Д-4.

Минимально возможные угловые диаметры солнечного диска на небе планет, имеющих крупные планетоподобные спутники

Планета	Расстояние от Солнца до планеты в афелии (тыс. км)	Минимально возможный угловой диаметр солнечного диска (в афелии планеты)
[1]	[2]	[3]
Земля	152 098,232	31'26,9"
Юпитер	816 620	5'51,4"
Сатурн	1 514 500	3'09,5"

Планета	Расстояние от Солнца до планеты в афелии (тыс. км)	Минимально возможный угловой диаметр солнечного диска (в афелии планеты)
[1]	[2]	[3]
Уран	3 003 620	1'35,6"
Нептун	4 545 670	1'03,1"
Плутон	7 375 930	0'38,9"

Теперь перейдём к спутникам планет. Видимый диск спутника на небе своей планеты имеет максимальные угловые размеры, когда спутник находится в самой ближней точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель находится на экваторе планеты и видит этот спутник в зените. Расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника будет равно в этот момент «табличному» минимальному

расстоянию от планеты до спутника за вычетом экваториального радиуса планеты. Это минимально возможное расстояние, которое может быть между наблюдателем, находящимся где-либо на поверхности планеты, и центром масс спутника. Результаты расчётов этих минимально возможных расстояний для планетоподобных спутников приведены в третьей колонке Таблицы Д-5. Средний диаметр спутников известен, поэтому дальше остаётся только с помощью тригонометрических формул рассчитать их максимально возможный угловой диаметр.

Правда, требуется сделать одну оговорку. В силу приливных взаимодействий со своими планетами все планетоподобные спутники подобно нашей Луне обращены к своим планетам одной и той же стороной. При этом, как уже обсуждалось в Дополнении 5, те из планетоподобных спутников, которые имеют форму трёхосных эллипсоидов (Ио, Мимас, Энцелад, Тетис, Диона, Рея, Миранда и Ариэль), ориентированы по отношению к своим планетам таким образом, что в сторону центров масс планет постоянно направлены самые длинные диаметры этих спутников. Гипотетический наблюдатель в рассматриваемом здесь случае находится на линии, соединяющей центры масс планеты и спутника, а из этого следует что он должен видеть такой спутник в его минимальном сечении. А значит, для расчёта углового диаметра «трёхосного» спутника на небе своей планеты, надо брать не средний диаметр спутника как такового, а несколько меньший средний диаметр его минимального сечения. Это же относится и к Япету, который имеет форму заметно сплюснутого эллипсоида вращения, поэтому средний диаметр его сечения, которое должен видеть гипотетический наблюдатель на Сатурне, также существенно меньше, чем средний диаметр спутника как такового.

Таблица Д-5.

Максимально возможные угловые диаметры планетоподобных спутников
на небе своих планет

Спутник	Минимальное расстояние от планеты до спутника (тыс. км)	Минимально возможное расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника* (тыс. км)	Средний диаметр спутника или средний диаметр минимального сечения*** (км)	Максимально возможный угловой диаметр диска спутника на небе своей планеты
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник Земли <i>(экваториальный радиус Земли – 6 378 км)</i>				
Луна**	357,00	350,62	3 474,8	34'04,2"
Спутники Юпитера <i>(экваториальный радиус Юпитера – 71 492 км)</i>				
Ио***	420,11	348,62	3 635,0	35'50,7"
Европа	665,06	593,57	3 121,6	18'04,8"

Спутник	Минимальное расстояние от планеты до спутника (тыс. км)	Минимально возможное расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника* (тыс. км)	Средний диаметр спутника или средний диаметр минимального сечения*** (км)	Максимально возможный угловой диаметр диска спутника на небе своей планеты
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Ганимед	1 069,33	997,84	5 262,4	18'07,8"
Каллисто	1 869,52	1 798,03	4 820,6	9'13,0"
Спутники Сатурна (экваториальный радиус Сатурна – 60 268 км)				
Мимас***	181,77	121,50	388,0	10'58,7"
Энцелад***	236,95	176,68	499,0	9'42,6"
Тефия***	294,66	234,39	1 054,0	15'27,5"
Диона***	376,57	316,30	1 121,0	12'11,0"
Рея***	526,51	466,24	1 525,0	11'14,7"
Титан	1 186,15	1 125,88	5 150,0	15'43,5"
Япет***	3 460,52	3 400,25	1 457,6	1'28,4"
Спутники Урана (экваториальный радиус Урана – 25 559 км)				
Миранда***	129,73	104,17	465,8	15'22,3"
Ариэль***	190,67	165,11	1 155,4	24'03,4"
Умбриэль	264,96	239,40	1 169,4	16'47,5"
Титания	435,82	410,26	1 577,8	13'13,3"
Оберон	582,68	557,12	1 522,8	9'23,8"
Спутник Нептуна (экваториальный радиус Нептуна – 24 764 км)				
Тритон	354,75	329,99	2 706,8	28'11,9"
Спутник карликовой планеты Плутон (экваториальный радиус Плутона – 1 188 км)				
Харон	19,60	18,41	1 212	3°46'21,6"

* - минимально возможное расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника рассчитано для ситуации, когда спутник находится в самой ближней к планете точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель находится на экваторе планеты и видит спутник в зените.

** - данные по Луне приведены для ситуации, когда лунная орбита имеет максимальный эксцентриситет и Луна находится в самом ближнем из всех возможных перигеев.

*** - Ио, Мимас, Энцелад, Тефия, Диона, Рея, Миранда и Ариэль имеют форму трёхосных эллипсоидов. Самые длинные диаметры этих спутников постоянно направлены на свои планеты, поэтому гипотетический наблюдатель на планете должен видеть эти спутники в их минимальном сечении, средний диаметр которого заметно меньше, чем средний диаметр спутника, как такового. Япет имеет форму заметно сплюснутого эллипсоида вращения, поэтому средний диаметр сечения, которое должен видеть гипотетический наблюдатель на Сатурне, также заметно меньше, чем средний диаметр спутника, как такового.

Минимальные же угловые размеры видимый диск спутника на небе своей планеты имеет, когда спутник находится в самой дальней точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель находится на полюсе планеты и видит этот спутник на горизонте. Расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника можно вычислить по теореме Пифагора, подобно тому, как это было описано в Дополнении 6 при вычислении расстояния от наблюдателя до центра масс Луны. В случае расчёта минимального видимого диаметра относительно близко расположенных спутников, пренебрегать этой процедурой нельзя (в отличие от описанного выше случая расчёта минимального видимого диаметра Солнца, которое расположено гораздо дальше от любой планеты, чем любой из её спутников). Результаты расчёта максимально возможного расстояния от гипотетического наблюдателя, находящегося где-либо на поверхности планет до центров масс их планетоподобных спутников, приведены в третьей колонке Таблицы Д-6, а результаты расчёта соответствующих минимальных значений угловых диаметров этих спутников приведены в пятой колонке этой же таблицы.

Таблица Д-6.

Минимально возможные угловые диаметры планетоподобных спутников
на небе своих планет

Спутник	Максимальное расстояние от планеты до спутника (тыс. км)	Максимально возможное расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника* (тыс. км)	Средний диаметр спутника или средний диаметр минимального сечения*** (км)	Минимально возможный угловой диаметр диска спутника на небе своей планеты
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник Земли (полярный радиус Земли – 6 357 км)				
Луна**	407,00	406,95	3 474,8	29'21,2"
Спутники Юпитера (полярный радиус Юпитера – 66 854 км)				
Ио***	423,49	418,18	3 635,0	29'52,9"
Европа	677,14	673,83	3 121,6	15'55,5"
Ганимед	1 071,47	1 069,38	5 262,4	16'55,0"
Каллисто	1 895,88	1 894,70	4 820,6	8'44,8"
Спутники Сатурна (полярный радиус Сатурна – 54 364 км)				
Мимас***	189,27	181,29	388,0	7'21,5"
Энцелад***	239,09	232,83	499,0	7'22,1"
Тетфия***	294,66	289,60	1 054,0	12'30,7"
Диона***	378,23	374,30	1 121,0	10'17,7"
Рея***	527,57	524,76	1 525,0	9'59,4"

Спутник	Максимальное расстояние от планеты до спутника (тыс. км)	Максимально возможное расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника* (тыс. км)	Средний диаметр спутника или средний диаметр минимального сечения*** (км)	Минимально возможный угловой диаметр диска спутника на небе своей планеты
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Титан	1 257,51	1 256,33	5 150,0	14'05,5"
Япет***	3 662,08	3 661,68	1 457,6	1'22,1"
Спутники Урана (полярный радиус Урана – 24 973 км)				
Миранда***	130,07	127,65	465,8	12'32,7"
Ариэль***	191,13	189,49	1 155,4	20'57,7"
Умбриэль	267,04	265,87	1 169,4	15'07,2"
Титания	436,78	436,07	1 577,8	12'26,3"
Оберон	584,32	583,79	1 522,8	8'58,0"
Спутник Нептуна (полярный радиус Нептуна – 24 341 км)				
Тритон	354,77	353,93	2 706,8	26'17,5"
Спутник карликовой планеты Плутон (полярный радиус Плутона – 1 188 км)				
Харон	19,60	19,56	1 212	3°33'02,9"

* - максимально возможное расстояние от гипотетического наблюдателя до центра масс спутника рассчитано для ситуации, когда спутник находится в самой дальней от планеты точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель находится на полюсе планеты и видит спутник на горизонте.

** - данные по Луне приведены для ситуации, когда лунная орбита имеет максимальный эксцентриситет и Луна находится в самом дальнем из всех возможных апогеев.

*** - Ио, Мимас, Энцелад, Тетис, Диона, Рея, Миранда и Ариэль имеют форму трёхосных эллипсоидов. Самые длинные диаметры этих спутников постоянно направлены на свои планеты, поэтому гипотетический наблюдатель на планете должен видеть эти спутники в их минимальном сечении, средний диаметр которого заметно меньше, чем средний диаметр спутника, как такового. Япет имеет форму заметно сплюснутого эллипсоида вращения, поэтому средний диаметр сечения, которое должен видеть гипотетический наблюдатель на Сатурне, также заметно меньше, чем средний диаметр спутника, как такового.

Следует упомянуть, что минимальные значения угловых диаметров спутников при наблюдении с поверхности своих планет, приведенные в пятой колонке Таблицы Д-6, в случае «трёхосных» спутников могут быть несколько заниженными. Как уже упоминалось выше, длинный диаметр таких спутников постоянно ориентирован на центр масс планеты. В случае, когда гипотетический наблюдатель находится на полюсе и наблюдает спутник на горизонте, длинный диаметр спутника направлен несколько ниже горизонта, а значит гипотетический наблюдатель должен видеть спутник в сечении, которое, хотя и близко к минимальному, но всё-таки немножко

больше, чем минимальное. Впрочем, погрешность, которая возникает по этой причине, очень невелика и для наших ориентировочных оценок не имеет никакого значения.

В некоторых случаях, когда спутники находятся на очень близких к планете орбитах, а плоскость орбиты при этом близка к экваториальной плоскости планеты, может иметь место такая ситуация, что спутник не бывает виден непосредственно с полюсов – спутник просто не поднимается там над горизонтом. В таких случаях максимальное расстояние от центра масс спутника до гипотетического наблюдателя, который всё-таки может видеть спутник на горизонте, будет немножко меньше, чем расстояние, указанное в третьей колонке Таблицы Д-6, а минимальный угловой диаметр немножко больше. Впрочем, погрешность, которая возникает и по этой причине, также очень невелика, поэтому для наших самых примерных оценок ей также можно полностью пренебречь.

Дополнение 8. Размеры спутников, имеющих обломочную форму

Самым большим среди всех спутников, имеющих обломочную форму, является спутник Нептуна Протей, размеры которого по трём измерениям составляют $440 \times 416 \times 404$ км. Протей даже несколько больше Мимаса – самого маленького из планетоподобных спутников (средний диаметр Мимаса – 396,4 км), который, хотя и меньше Протея, но, тем не менее, имеет отчётливо сферическую форму.

Следующими после Мимаса спутниками в порядке убывания размеров (во всяком случае, среди спутников главных планет) являются спутник Нептуна Нереида, средний диаметр которой оценивается приблизительно в 340 км, и два спутника Сатурна – Гиперион (270 км) и Феба (213 км). Форма Нереиды пока остаётся неизвестной, так как этот спутник ещё ни разу не был сфотографирован с близкого расстояния. Но зато Гиперион, хорошо изученный к настоящему времени, уже совершенно не похож на планету. Этот спутник имеет очень необычную неправильную форму и представляет собой вытянутое обломочное тело с резко различающимися характерными диаметрами $360 \times 266 \times 206$ км. Что касается Фебы, то этот спутник грубо напоминает эллипсоид вращения ($218 \times 218 \times 204$ км), при этом различие между большим и малым диаметрами составляет около 7%, что даже меньше, чем у Мимаса (9%), который имеет отчётливо сферическую форму. Однако фотографии Фебы, выполненные с близкого расстояния, не оставляют никакого сомнения, что этот спутник имеет обломочную форму и совершенно не похож на маленькую планету.

Неправильную обломочную форму имеют и все остальные сфотографированные с близкого расстояния ещё меньшие по размеру спутники главных планет, а также спутники астероидов и малые спутники Плутона. Подробный обзор обломочных спутников (тем более, обломочных спутников карликовых планет и астероидов) не входит в задачу этой книги. Коротко охарактеризуем лишь распределение обломочных спутников главных планет по их размерам.

Из 187 обломочных спутников главных планет только четыре имеют средний диаметр более 200 км. Это уже называвшиеся выше спутники Нептуна Протей (около

420 км) и Нереида (около 340 км), а также спутники Сатурна Гиперион (270 км) и Феба (213 км).

Ещё десять известных обломочных спутников главных планет имеют средние диаметры в диапазоне от 100 до 200 км. Это спутники Юпитера Гималия (170 км) и Амальтея (167 км), спутники Сатурна Янус (179 км) и Эпиметей (116 км), спутники Урана Пак (162 км), Сикоракса (150 км) и Порция (140 км), а также спутники Нептуна Ларисса (195 км), Галатейя (175 км) и Деспина (151 км).

Остальные 173 обломочных спутника имеют средние диаметры меньше 100 км (от 50 до 100 км – 14 спутников; от 20 до 50 км – 28 спутников; от 10 до 20 км – 11 спутников; менее 10 км – 120 спутников).

Дополнение 9. Обломочные спутники, которые при наблюдении со своих планет бывают равны или близки по угловым размерам солнечному диску

Представляет определённый интерес рассмотреть, как меняются угловые диаметры Эпиметей, Пандоры и Прометейя при наблюдении с экватора Сатурна, а также угловой диаметр Пердиты при наблюдении с экватора Урана и, наконец, угловой диаметр Нереиды при наблюдении с экватора Нептуна. Эпиметей и Пердита – это два, в своём роде, уникальных обломочных спутника, которые регулярно (и очень часто) при наблюдении со своих планет должны быть видны равными по угловой площади солнечному диску. Что касается Пандоры и Прометейя, то эти два спутника в самые «благоприятные» моменты бывают очень близки к угловым размерам солнечного диска, а что касается Нереиды, то... про этот спутник долго так думали. Впрочем, обо всём по порядку.

Эпиметей

Эпиметей представляет собой тело неправильной обломочной формы размерами 130×114×106 км. Осевое и орбитальное вращение Эпиметейя синхронизированы, при этом длинная ось спутника всегда направлена на центр масс Сатурна, поэтому гипотетический сатурнианский наблюдатель видит Эпиметей в его минимальном сечении 114×106 км. Средний диаметр этого минимального сечения равен 110 км.

Среднее расстояние от Сатурна до Эпиметейя принимается равным 151 422 км. Орбита Эпиметейя почти круговая, её эксцентриситет весьма невелик ($e = 0,009$). При таком эксцентриситете минимальное расстояние между центрами масс Сатурна и Эпиметейя должно составлять:

$$151\,422 \text{ км} \times (1 - 0,009) = 150\,059 \text{ км},$$

а максимальное:

$$151\,422 \text{ км} \times (1 + 0,009) = 152\,785 \text{ км}.$$

Для расчётов минимально и максимально возможных реальных расстояний от точки на экваторе Сатурна, где находится гипотетический наблюдатель, до центра масс Эпиметей воспользуемся Рисунком Д-5 из Дополнения 6. Точка Z теперь будет обозначать центр масс Сатурна, а точка L – центр масс Эпиметей. Экваториальный радиус Сатурна равен 60 268 км.

Минимально возможное реальное расстояние от гипотетического наблюдателя на экваторе Сатурна до центра масс Эпиметей (когда Эпиметей находится в самой ближней к Сатурну точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель видит его в зените) составляет:

$$N_1L = ZL_{\min} - N_1Z = 150\,059 \text{ км} - 60\,268 \text{ км} = 89\,791 \text{ км}.$$

Максимально возможное реальное расстояние от гипотетического наблюдателя на экваторе Сатурна до центра масс Эпиметей (когда Эпиметей находится в самой дальней от Сатурна точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель видит его на горизонте) составляет:

$$N_2L = \sqrt{ZL_{\max}^2 - N_2Z^2} = \sqrt{152\,785^2 - 60\,268^2} \text{ км} = 140\,396 \text{ км}.$$

При наблюдении с расстояния $N_1L = 89\,791$ км средний угловой диаметр минимального сечения Эпиметей равен $4'12,7''$, а при наблюдении с расстояния $N_2L = 140\,396$ км равен $2'41,6''$. Таким образом, весь диапазон возможных изменений углового диаметра солнечного диска при наблюдении с Сатурна ($3'09,5'' \div 3'32,2''$) целиком уместается в пределах принимаемого нами диапазона возможных изменений среднего углового диаметра Эпиметей при наблюдении с экватора Сатурна ($2'41,6'' \div 4'12,7''$). Из этого следует, что каждый раз за период от восхода до захода Эпиметей имеют место два момента времени, когда гипотетический наблюдатель, находящийся на экваторе Сатурна, может видеть этот спутник равным по своей кажущейся площади солнечному диску.

Строго говоря, при наблюдении синхронизированного спутника на горизонте гипотетический наблюдатель видит не самое минимальное, а всё-таки немножко большее сечение. Длинный диаметр синхронизированного спутника направлен на центр масс планеты, а в случае, если спутник виден на горизонте, это означает, что его длинный диаметр направлен под некоторым углом вниз под горизонт. Если гипотетический наблюдатель находится на экваторе Сатурна и при этом видит Эпиметей на горизонте, то этот угол составляет около 20° , а «приращение» среднего углового диаметра сечения, обращённого к гипотетическому наблюдателю, по сравнению с минимальным сечением составляет около двух угловых секунд. Впрочем, такая небольшая поправка применительно к обсуждаемым здесь вопросам не имеет никакого значения.

Говоря об Эпиметее, нельзя не отметить, что этот спутник довольно часто упоминается в литературе, но вовсе не из-за близости своих угловых размеров к угловым размерам Солнца при наблюдении со своей планеты, а по совершенно другой причине. Дело в том, что Эпиметей обращается вокруг Сатурна по орбите, которая очень близка к орбите Януса – ещё одного спутника Сатурна, при этом разница между средними радиусами орбит Эпиметей и Януса составляет всего лишь 50 км, что даже меньше, чем средние радиусы каждого из этих космических тел. Самое удивительное,

что время от времени (примерно раз в четыре года) эти два спутника как бы меняются орбитами – тот, который находился на более близкой орбите, уходит на более дальнюю, а тот, который был на более дальней, наоборот, переходит на более ближнюю. Рассмотрение причин, по которым Эпиметей и Янус совершают столь сложный и необычный «орбитальный танец», выходит далеко за рамки задач этой книги, но, говоря об Эпиметее, просто нельзя было обойти вниманием то, из-за чего этот спутник действительно больше всего знаменит.

Пандора и Прометей

Пандора и Прометей – это ещё два небольших спутника Сатурна, которые также имеют неправильную обломочную форму. Размеры Пандоры – $104 \times 82 \times 64$ км, а размеры Прометея – $136 \times 80 \times 60$ км. Как и у Эпиметея, осевое вращение этих двух спутников синхронизировано с орбитальным, поэтому каждый из них постоянно смотрит на Сатурн одной и той же стороной, при этом в сторону центра масс Сатурна направлены их длинные диаметры. А значит, гипотетический наблюдатель, находящийся на Сатурне в подзенитных точках Пандоры и Прометея будет видеть эти спутники в их минимальных сечениях: 82×64 км у Пандоры и 80×60 км у Прометея. Средние диаметры минимальных сечений составляют $72,4$ км у Пандоры и $69,3$ км у Прометея.

Среднее расстояние от Сатурна до Пандоры принимается равным $141\,700$ км. Орбита Пандоры близка к круговой, её эксцентриситет очень невелик ($e = 0,0042$). При таком эксцентриситете минимальное расстояние между центрами масс Сатурна и Пандоры должно составлять:

$$141\,700 \text{ км} \times (1 - 0,0042) = 141\,105 \text{ км}.$$

Для расчёта минимально возможного реального расстояния от точки на экваторе Сатурна, где находится гипотетический наблюдатель, до центра масс Пандоры ещё раз воспользуемся Рисунком Д-5 из Дополнения 6. Точка Z будет обозначать центр масс Сатурна, а точка L – центр масс Пандоры.

Минимально возможное реальное расстояние от гипотетического наблюдателя на экваторе Сатурна до центра масс Пандоры (когда Пандора находится в самой ближней к Сатурну точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель видит её в зените) составляет:

$$N_1L = ZL_{\min} - N_1Z = 141\,105 \text{ км} - 60\,268 \text{ км} = 80\,837 \text{ км}.$$

При наблюдении с расстояния $N_1L = 80\,837$ км средний угловой диаметр минимального сечения Пандоры равен $3'04,7''$. Это максимально возможный средний угловой диаметр Пандоры при наблюдении с Сатурна, и он несколько меньше, чем минимально возможный угловой диаметр солнечного диска на небе Сатурна ($3'09,5''$), а значит Пандора всегда видна на небе Сатурна меньшей по своей кажущейся площади, чем диск Солнца. Максимальное значение, которое может достигать отношение среднего углового диаметра Пандоры к угловому диаметру Солнца составляет $(3'04,7''/3'09,5'') = 0,975$.

Среднее расстояние от Сатурна до Прометея принимается равным 139 353 км. Орбита Прометея очень близка к круговой, её эксцентриситет совсем мал ($e = 0,00204$). При таком эксцентриситете минимальное расстояние между центрами масс Сатурна и Прометея должно составлять:

$$139\,353\text{ км} \times (1 - 0,00204) = 139\,069\text{ км.}$$

Для расчёта минимально возможного реального расстояния от точки на экваторе Сатурна, где находится гипотетический наблюдатель, до центра масс Прометея снова воспользуемся Рисунком Д-5 из Дополнения 6. Точка Z опять обозначает центр масс Сатурна, а точка L – центр масс Прометея.

Минимально возможное реальное расстояние от гипотетического наблюдателя на экваторе Сатурна до центра масс Прометея (когда Прометей находится в самой ближней к Сатурну точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель видит его в зените) составляет:

$$N_1L = ZL_{\min} - N_1Z = 139\,069\text{ км} - 60\,268\text{ км} = 78\,801\text{ км.}$$

При наблюдении с расстояния $N_1L = 78\,801\text{ км}$ средний угловой диаметр минимального сечения Прометея равен $3'01,4''$. Это максимально возможный средний угловой диаметр Прометея при наблюдении с Сатурна, и он также несколько меньше, чем минимально возможный угловой диаметр солнечного диска на небе Сатурна ($3'09,5''$), а значит Прометей, как и Пандора всегда виден на небе Сатурна меньшим по своей кажущейся площади, чем диск Солнца. Максимальное значение, которое может достигать отношение среднего углового диаметра Прометея к угловому диаметру Солнца составляет ($3'01,4''/3'09,5''$) = 0,957.

Пердита

Спутник Урана Пердита имеет почти круговую орбиту. На сайте НАСА даже не указан её эксцентриситет, но, судя по другим источникам, он очень невелик, поэтому будем условно считать орбиту круговой, а расстояние между центрами масс Урана и этого спутника постоянным и равным 76 420 км.

Для расчётов минимально и максимально возможных реальных расстояний от точки на экваторе Урана, где находится гипотетический наблюдатель, до центра масс Пердиты ещё раз воспользуемся Рисунком Д-5 из Дополнения 6. Теперь точка Z теперь будет обозначать центр масс Урана, а точка L – центр масс Пердиты. Экваториальный радиус Урана равен 25 559 км.

Минимально возможное реальное расстояние от гипотетического наблюдателя на экваторе Урана до центра масс Пердиты (когда гипотетический наблюдатель видит её в зените) составляет:

$$N_1L = ZL - N_1Z = 76\,420\text{ км} - 25\,559\text{ км} = 50\,861\text{ км.}$$

Максимально возможное реальное расстояние от гипотетического наблюдателя на экваторе Урана до центра масс Пердиты (когда гипотетический наблюдатель видит её на горизонте) составляет:

$$N_2L = \sqrt{ZL^2 - N_2Z^2} = \sqrt{76\,420^2 - 25\,559^2}\text{ км} = 72\,019\text{ км.}$$

Если принять средний диаметр Пердиты равным 26 км, что соответствует её среднему радиусу, указанному на сайте НАСА (13 км), то в таком случае для гипотетического наблюдателя, находящегося на экваторе Урана, средний угловой диаметр Пердиты будет меняться от 1'14,5", когда этот спутник виден на горизонте (с расстояния $N_2L = 72\,019$ км) до 1'45,4", когда он виден в зените (с расстояния $N_1L = 50\,861$ км). Диапазон возможных изменений углового диаметра солнечного диска при наблюдении с Урана (1'35,6"÷1'44,7") целиком уместается в пределы диапазона возможных изменений среднего углового диаметра Пердиты при наблюдении с экватора Урана (1'14,5"÷1'45,4"). Из этого следует, что каждый раз за период от восхода до захода Пердиты имеют место два момента времени, когда гипотетический наблюдатель, находящийся на экваторе Урана, может видеть этот спутник равным по своей кажущейся площади солнечному диску.

Нереида

Спутник Нептуна Нереида ещё ни разу не был сфотографирован с хорошим разрешением, поэтому форма этого спутника пока остаётся неизвестной. Наиболее же вероятное значение среднего диаметра Нереиды принимается в настоящее время равным 340 км. Среднее расстояние от Нептуна до Нереиды составляет 5 513 400 км, а эксцентриситет её орбиты равен 0,7512. Это «рекордно» большое значение эксцентриситета орбиты среди всех известных спутников планет. Такие высокие значения эксцентриситета орбиты гораздо более характерны для комет. Минимальное расстояние между центрами масс Нептуна и Нереиды составляет:

$$5\,513\,400 \text{ км} \times (1 - 0,7512) = 1\,371\,734 \text{ км},$$

а максимальное:

$$5\,513\,400 \text{ км} \times (1 + 0,7512) = 9\,655\,066 \text{ км}.$$

Нереида имеет самую вытянутую орбиту среди всех известных к настоящему времени спутников главных планет – минимальное и максимальное расстояния от Нептуна до Нереиды различаются более чем в семь раз!

В очередной раз воспользуемся Рисунком Д-5 из Дополнения 6. Теперь точка Z будет обозначать центр масс Нептуна, а точка L – центр масс Нереиды. Экваториальный радиус Нептуна равен 24 764 км. Минимально возможное реальное расстояние от гипотетического наблюдателя на экваторе Нептуна до центра масс Нереиды (когда Нереида находится в самой ближней к Нептуну точке своей орбиты, а гипотетический наблюдатель видит его в зените) составляет:

$$N_1L = ZL_{\min} - N_1Z = 1\,371\,734 \text{ км} - 24\,764 \text{ км} = 1\,346\,970 \text{ км}.$$

При среднем диаметре 340 км средний угловой диаметр Нереиды при наблюдении с расстояния $N_1L = 1\,346\,970$ км должен составлять 0'52,1". Это заметно (примерно на одну шестую) меньше, чем минимально возможный угловой диаметр солнечного диска, когда Нептун находится в афелии своей орбиты (1'03,1"). Максимально возможное отношение угловых диаметров Нереиды и солнечного диска на небе Нептуна должно составлять (0'52,1"/1'03,1") = 0,826.

До 1989 года, когда в окрестностях Нептуна пролетела автоматическая межпланетная станция «Вояджер-2», средний диаметр Нереиды принимался равным

400 км. При таких размерах средний угловой диаметр Нереиды при наблюдении с расстояния $N_1L = 1\,346\,970$ км должен был бы составлять $1'01,3''$, а максимально возможное отношение угловых диаметров Нереиды и солнечного диска на небе Нептуна составило бы в этом случае $(1'01,3''/1'03,1'') = 0,971$. Однако сейчас мы знаем, что эта оценка была завышенной.

Дополнение 10. Колебания эксцентриситета земной орбиты и связанные с этим колебания минимального и максимального расстояния от Земли до Солнца в течение года

Согласно модели, которую разработал немецкий астроном Йоахим Гизен [Joachim Giesen] и которая охватывает интервал времени ± 1 миллион лет относительно нынешнего момента, значение эксцентриситета земной орбиты менялось и будет меняться в течение этого интервала времени в диапазоне $0,00231 \div 0,05767$, составляя в среднем $0,02674$.

Вышеуказанный максимум эксцентриситета ($e_{\max} = 0,05767$) согласно модели Гизена имел место примерно 970 тысяч лет назад, после чего он испытывал очень сильные колебания с периодом порядка 95-100 тысяч лет, но такого высокого значения уже не достигал. В настоящее время значение эксцентриситета земной орбиты относительно невелико ($e_0 = 0,01671$), что несколько ниже среднего модельного значения ($e_{\text{сред}} = 0,02674$), при этом оно уменьшается и согласно модели Гизена через 28 тысяч лет достигнет вышеуказанного минимума ($e_{\min} = 0,00231$). После этого эксцентриситет земной орбиты будет опять испытывать сильные колебания с периодом порядка 95-100 тысяч лет, но в течение ближайшего миллиона лет эксцентриситет земной орбиты указанных двух экстремумов уже не достигнет.

Другие встречающиеся в литературе оценки изменений эксцентриситета земной орбиты в своём большинстве довольно близки к оценкам Гизена. В силу этого мы можем условно считать для наших дальнейших построений, что эксцентриситет земной орбиты меняется в вышеуказанных пределах – от $0,00231$ до $0,05767$.

Если принять диапазон возможных изменений эксцентриситета земной орбиты таким, как он указан в модели Гизена, то уже несложно рассчитать и соответствующие этим крайним значениям эксцентриситета годовые диапазоны изменения расстояния от Земли до Солнца. Минимальные и максимальные значения расстояния до Солнца в течение года будут существенно иными, чем в настоящее время.

При наименьшем эксцентриситете орбиты Земли ($e_{\min} = 0,00231$), то есть при её наиболее «круглой» форме, расчётные параметры составляют:

- минимальное расстояние до Солнца (в перигелии) $LC_{3\min} = 149\,253$ тыс. км;
- максимальное (в афелии) $LC_{3\max} = 149\,944$ тыс. км.

При наибольшем эксцентриситете орбиты Земли ($e_{\max} = 0,05767$), то есть при её наиболее вытянутой форме, расчётные параметры составляют:

- минимальное расстояние до Солнца (в перигелии) $LC_{3\min} = 140\,971$ тыс. км;

- максимальное (в афелии) $LC_{3\max} = 158\,226$ тыс. км.

Разумеется, это лишь чисто формальные модельные параметры. Тем не менее, эти модельные параметры дают нам ориентировочное представление о порядке величины их возможных реальных изменений. Соответственно, мы можем, хотя и с некоторой осторожностью, принять для наших дальнейших построений указанные выше диапазоны изменения расстояния от Земли до Солнца в эпохи малого и большого эксцентриситета.

Обращает внимание, что размах между максимальным и минимальным расстояниями от Земли до Солнца в течение года ($LC_{3\max} - LC_{3\min}$), который в настоящее время составляет пять миллионов километров, в эпохи наиболее «круглой» земной орбиты ($e_{\min} = 0,00231$) уменьшается примерно до семисот тысяч километров, а в эпохи наиболее вытянутой орбиты ($e_{\max} = 0,05767$) увеличивается до семнадцати миллионов километров с лишним.

Что же касается среднего расстояния от Земли до Солнца $LC_{3\text{сред}}$, то в модели Гизена оно не испытывает колебаний, связанных с колебаниями эксцентриситета земной орбиты, то есть, постоянно остаётся таким же, как и сейчас (149 598 тыс. км). Из этого следует, в частности, что не должен испытывать колебаний и период обращения Земли вокруг Солнца.

Дополнение 11. Форма и размеры Земли и других планет Солнечной системы

Земля и другие главные планеты в первом приближении имеют форму шара, однако, из-за своего осевого вращения планеты принимают в той или иной мере сплюснутую форму, поэтому во втором более точном приближении правильнее говорить, что эти тела имеют форму сплюснутых эллипсоидов вращения. Как уже говорилось в Дополнении 5, степень сплюснутости эллипсоидов вращения характеризуется полярным сжатием f :

$$f = \frac{a - c}{a},$$

где: a – экваториальный диаметр,
 c – полярный диаметр.

Полярное сжатие Земли равно 0,003353 (или 1/298,25). Это почти в три раза больше, чем полярное сжатие Луны, которое составляет 0,001208 (или 1/827,67). Впрочем, если бы мы имели возможность увидеть всю нашу планету целиком, то её небольшая сплюснутость была бы совершенно незаметна для человеческого глаза. Так, экваториальный диаметр Земли равен 12 756,274 км, а полярный – 12 713,504 км. Разница между полярным и экваториальными диаметрами Земли составляет всего лишь 42,770 км. Такую разницу в масштабе всего земного шара, конечно же, совершенно невозможно заметить на глаз.

Под размерами нашей планеты обычно (в том числе и в этой книге) подразумеваются размеры геоида – теоретической фигуры, поверхность которой примерно совпадает с уровнем вод Мирового океана в невозмущённом состоянии. Эта поверхность условно продолжается под материками и островами, так словно бы мы пересекли все материки и острова плотной сетью сообщающихся каналов. Именно средний диаметр геоида, равный 12 742,000 км, и принимается нами в качестве среднего диаметра Земли $D_{\text{Зсред}}$.

Что же касается твёрдой поверхности Земли, то в Мировом океане, занимающем 70,8% земной поверхности, она располагается значительно ниже поверхности геоида (в среднем на 3 711 м), тогда как на суше, занимающей 29,2% земной поверхности, наоборот, возвышается над поверхностью геоида (в среднем на 875 м). Нетрудно рассчитать, что в среднем по всей площади земного шара твёрдая поверхность Земли располагается на 2 372 м ниже поверхности геоида:

$$(-3\,711\text{ м} \times 70,8\% + 875\text{ м} \times 29,2\%) : 100\% \approx -2\,372\text{ м.}$$

Из этого следует, что средний диаметр «твёрдой Земли» на $2\,372\text{ м} \times 2 = 4\,744\text{ м}$ меньше, чем средний диаметр геоида, традиционно используемый в расчётах как средний диаметр Земли $D_{\text{Зсред}}$. Средний диаметр «твёрдой Земли» может быть принят равным

$$12\,742,000\text{ км} - 4,744\text{ км} = 12\,737,256\text{ км.}$$

Можно посчитать и средний диаметр «реальной Земли», подразумевая под реальной поверхностью нашей планеты невозмущённую водную поверхность в Мировом океане и твёрдую поверхность на суше. В Мировом океане, занимающем 70,8% земной поверхности, реальная поверхность совпадает с поверхностью геоида, то есть имеет высоту 0 м, а на суше, занимающей 29,2% земной поверхности, она, как уже говорилось, возвышается над поверхностью геоида в среднем на 875 м. Опять-таки нетрудно рассчитать, что в среднем по всей площади земного шара реальная поверхность Земли располагается на 255,5 м выше поверхности геоида:

$$(0\text{ м} \times 70,8\% + 875\text{ м} \times 29,2\%) : 100\% \approx +255,5\text{ м.}$$

Из этого следует, что средний диаметр «реальной Земли» на $255,5\text{ м} \times 2 = 511\text{ м}$ больше, чем средний диаметр геоида $D_{\text{Зсред}}$, и составляет

$$12\,742,000\text{ км} + 0,511\text{ км} = 12\,742,511\text{ км.}$$

Средние, экваториальные и полярные диаметры главных планет Солнечной системы, а также значения их полярного сжатия приведены в Таблице Д-7. У Меркурия и Венеры сколь либо заметное полярное сжатие отсутствует, что связано с очень медленным осевым вращением этих планет. Как Меркурий, так и Венера имеют форму очень близкую к форме шара, поэтому их экваториальные, полярные и средние диаметры могут быть приняты равными друг другу. У Земли и Марса полярное сжатие невелико и имеет примерно один порядок. А вот у планет-гигантов оно выражено значительно сильнее, особенно у Сатурна, сплюснутую форму которого легко заметить даже при беглом взгляде на фотографии этой планеты.

В Таблице Д-7 также приведены сведения о карликовой планете Плутон. Как и у Меркурия и Венеры, у Плутона нет сколь-либо заметного полярного сжатия, что также связано с его очень медленным осевым вращением.

Восемь главных планет очень чётко разделяются на две совершенно непохожие группы. Первые четыре ближайšie к Солнцу планеты (Меркурий, Венера, Земля и Марс) называют планетами земной группы. Они относительно невелики по размерам и массе, имеют преимущественно каменно-металлический общий состав и чётко выраженную твёрдую поверхность.

Таблица Д-7.

Характерные диаметры и величины полярного сжатия главных планет Солнечной системы и карликовой планеты Плутон

Планета	Средний диаметр d		Экваториальный диаметр a (км)	Полярный диаметр c (км)	Полярное сжатие $f = \frac{a-c}{a}$
	(км)	(в средних диаметрах Земли)			
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Меркурий	4 879,4	0,3829	4 879,4	4 879,4	0
Венера	12 103,6	0,9499	12 103,6	12 103,6	0
Земля	12 742,000	1,0000	12 756,274	12 713,504	1/298,25
Марс	6 779,0	0,5320	6 792,4	6 752,4	1/169,81
Юпитер	139 822	10,9733	142 984	133 708	1/15,41
Сатурн	116 464	9,1402	120 536	108 728	1/10,21
Уран	50 724	3,9809	51 118	49 946	1/43,62
Нептун	49 244	3,8647	49 528	48 682	1/58,54
Плутон	2 376	0,1865	2 376	2 376	0

Особый случай представляет наша Земля, которая имеет не только чётко выраженную твёрдую поверхность, охватывающую всю планету, но ещё и жидкую поверхность (то есть, поверхность Мирового океана и других водоёмов), покрывающую хотя и не всю, но бóльшую часть поверхности планеты. В прошлом крупные водоёмы могли существовать и на поверхности Марса, но в настоящее время присутствие жидкой воды на этой планете возможно только в виде подповерхностных вод. Венера и Марс, как и Земля обладают атмосферами, правда, атмосфера Венеры намного более плотная, чем атмосфера нашей планеты, а атмосфера Марса, наоборот, намного более разреженная. У Меркурия атмосферы нет.

Четыре более далёких от Солнца планеты (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) называют планетами-гигантами. Они, как и следует из обобщённого названия их группы, обладают большой массой и размерами. Следует сказать, что планеты-гиганты совсем не похожи на планеты, в том смысле, который мы вкладываем, когда обычно произносим это слово. Никто и никогда не высадится на твёрдую поверхность планет-гигантов, не установит там научные приборы и государственные флаги, не соберёт образцы горных пород. Никто и никогда не сможет сделать этого, так как у планет-гигантов просто нет никакой твёрдой поверхности. Более того, ни одна из этих планет,

по-видимому, вообще не имеет никаких отчётливо выраженных поверхностей – ни твёрдых, ни жидких. Внутренние области планет-гигантов, скрывающиеся под мощнейшими внешними газовыми оболочками, хотя и находятся, как считается, в расплавленном, то есть в жидком состоянии, но переход от газообразного вещества к жидкому имеет, по всей вероятности, постепенный характер. В качестве внешней поверхности в случае планет-гигантов условно принимается верхняя поверхность сплошного облачного слоя, который целиком окутывает каждую из этих планет.

Кстати говоря, Венера тоже целиком покрыта облачным слоем, непрозрачным в видимой части спектра, поэтому при наблюдении в обычный телескоп разглядеть твёрдую поверхность этой планеты невозможно. Однако облачный слой прозрачен в радиодиапазоне, поэтому рельеф твёрдой поверхности был детально изучен с помощью радиолокационного зондирования, выполненного с искусственных спутников Венеры. Эти исследования дали возможность и весьма точно определить размеры «твёрдой Венеры».

Дополнение 12. Орбиты планет Солнечной системы

В Таблице Д-8 приведены важнейшие параметры орбит главных планет, а также карликовой планеты Плутон: минимальные, средние и максимальные расстояния от планет до Солнца, эксцентриситеты орбит и наклоны плоскостей орбит к плоскости солнечного экватора.

Таблица Д-8.

Расстояния до Солнца, эксцентриситеты и наклоны орбит главных планет Солнечной системы и карликовой планеты Плутон

Планета	Расстояние от планеты до Солнца (млн км)			Расстояние от планеты до Солнца (а.е.)			Эксцентриситет орбиты	Наклонение плоскости орбиты к плоскости солнечного экватора
	минимум (в перигелии)	среднее	максимум (в афелии)	минимум (в перигелии)	среднее	максимум (в афелии)		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
Меркурий	46,00	57,91	69,82	0,307	0,387	0,467	0,2056	3°23'
Венера	107,48	108,21	108,94	0,718	0,723	0,728	0,0067	3°52'
Земля	147,10	149,60	152,10	0,983	1,000	1,017	0,0167	7°09'
Марс	206,62	227,92	249,23	1,381	1,524	1,666	0,0935	5°39'
Юпитер	740,52	778,57	816,62	4,950	5,204	5,459	0,0489	6°05'
Сатурн	1 352,55	1 433,53	1 514,50	9,041	9,582	10,124	0,0565	5°31'
Уран	2 741,30	2 872,46	3 003,62	18,324	19,201	20,078	0,0457	6°29'
Нептун	4 444,45	4 495,06	4 545,67	29,709	30,047	30,386	0,0113	6°26'
Плутон	4 436,82	5 906,38	7 375,93	29,658	39,482	49,305	0,2488	11°53'

Все главные планеты обращаются по своим орбитам вокруг Солнца в одну и ту же сторону – против часовой стрелки, если смотреть со стороны Полярной звезды. В ту же самую сторону вращается и Солнце вокруг своей оси. В эту же сторону обращаются вокруг Солнца подавляющее большинство астероидов, комет и транснептуновых объектов (включая Плутон). Самым известным примером космического тела, обращающегося вокруг Солнца в «обратную» сторону, является комета Галлея.

Орбиты главных планет имеют близкую к круговой форму, при этом плоскости орбит главных планет довольно близки к плоскости солнечного экватора. Некоторое исключение среди орбит главных планет представляет только орбита Меркурия, эксцентриситет которой (0,2056) значительно больше, чем у других главных планет.

Довольно часто в астрономической литературе отмечается также, что орбита Меркурия отличается от орбит других главных планет ещё и наибольшим наклоном её плоскости по отношению к плоскости земной орбиты, угол между которыми составляет $7^{\circ}00'$. Следует, однако, подчеркнуть, что речь в этом случае идёт именно о наклонении к плоскости земной орбиты. Что же касается наклона плоскости орбиты по отношению к плоскости солнечного экватора, то среди главных планет оно как раз минимально именно у Меркурия ($3^{\circ}23'$), а максимально – у Земли ($7^{\circ}09'$).

Что касается Плутона, то его орбита отличается от орбит всех восьми главных планет как заметно бóльшим эксцентриситетом (0,2488), так и значительно бóльшим наклоном орбиты по отношению к плоскости солнечного экватора ($11^{\circ}53'$).

Характерные расстояния от планет до Солнца приведены в Таблице Д-8 с точностью до десятков тысяч километров, а эксцентриситеты орбит – с точностью до четвёртого знака после запятой. Что касается земной орбиты, то её параметры установлены с гораздо большей точностью. Так, в астрономических справочниках в последнее время чаще всего приводятся следующие сведения:

- среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗС\text{сред}} = 149\,598\,261$ км;
- минимальное расстояние (в перигелии) $L_{ЗС\text{min}} = 147\,098\,290$ км;
- максимальное расстояние (в афелии) $L_{ЗС\text{max}} = 152\,098\,232$ км.

Приведённые выше значения основываются на значениях эксцентриситета земной орбиты и среднего расстояния от Земли до Солнца, которые опубликовали в 2010 году американские астрономы Эрланд Майлз Стэндиш и Джеймс Уильямс [Erland Myles Standish & James G. Williams]. По их расчётам в настоящую эпоху эксцентриситет земной орбиты равен 0,01671123, а среднее расстояние от Земли до Солнца составляет 1,00000261 астрономических единиц.

Как видим, среднее расстояние от Земли до Солнца несколько больше одной астрономической единицы (а.е.) – широко известной единицы измерения космических расстояний, которая когда-то по определению была и задумана равной именно среднему расстоянию от Земли до Солнца. Не вдаваясь в детали, отметим, что в настоящее время под астрономической единицей понимается хотя и очень близкое, но всё же несколько другое расстояние, чем собственно среднее расстояние от Земли до Солнца. В 2012 году решением Международного астрономического союза длина астрономической единицы была окончательно «узаконена» и строго привязана к

метрической системе – она составляет 149 597 870,7 км, что на 390,3 км меньше среднего расстояния от Земли до Солнца, как такового.

Дополнение 13. К вопросу о наибольших и наименьших периодах обращения спутников вокруг своих планет

В Главе VI уже были приведены сведения о периодах обращения планетоподобных спутников вокруг своих планет. Отметим здесь только, что дольше всех из них совершает один оборот вокруг своей планеты спутник Сатурна Япет (79,330183 суток), а быстрее всех – Мимас (0,942422 суток), ещё один из планетоподобных спутников, также находящийся в системе Сатурна. Периоды орбитального обращения Япета и Мимаса различаются в восемьдесят четыре раза.

Что же касается обломочных спутников, то самым медленным из них является спутник Нептуна Несо, который совершает один оборот вокруг своей планеты за 9 374,0 суток. Иными словами, «месяц» Несо длится примерно двадцать пять с половиной земных лет! Несо – это не только самый дальний спутник Нептуна, но и вообще самый удалённый от своей планеты из всех известных спутников в Солнечной системе: среднее расстояние от Нептуна до Несо составляет 48,39 миллионов километров, а в самой дальней точке своей орбиты Несо находится от Нептуна на расстоянии 72,34 миллиона километров. Это даже больше, чем расстояние от Солнца до Меркурия в самой дальней точке его орбиты (69,82 миллионов километров)!

Самый же быстрый из обломочных спутников также находится в системе Нептуна – это спутник Наяда, который совершает один оборот вокруг своей планеты за 0,294396 земных суток. «Месяц» Наяды, таким образом, длится всего лишь 7 часов 04 минуты. Периоды орбитального обращения Несо и Наяды различаются почти в тридцать две тысячи раз! Кстати говоря, эти два спутника весьма близки по своим размерам: средний диаметр Несо оценивается в 60 км, а размеры Наяды по трём измерениям – 96×60×52 км.

Наяда обращается вокруг Нептуна значительно быстрее, чем Нептун успевает совершить один оборот вокруг своей оси (16 часов 07 минут). Известно, что если спутник обращается вокруг планеты быстрее, чем сама планета вращается вокруг своей оси, то приливные взаимодействия между ними таковы, что спутник неуклонно приближается к своей планете.

Долгое время в Солнечной системе был известен только один такой спутник – это Фобос, который совершает оборот вокруг Марса за 7 часов 39 минут, тогда как сам Марс совершает оборот вокруг своей оси за 24 часа 37 минут. Однако, когда в конце XX и в начале XXI веков окрестности планет-гигантов были неоднократно обследованы автоматическими межпланетными станциями, то выяснилось, что таких спутников, обращающихся вокруг своей планеты быстрее, чем сама планета вращается вокруг своей оси, довольно много. Помимо Фобоса два таких спутника есть у Юпитера (Метида и Адрастея), одиннадцать – у Урана (Корделия, Офелия, Бианка, Крессида, Дездемона,

Джульетта, Порция, Розалинда, Купидон, Белинда и Пердита), и ещё пять – у Нептуна (Наяда, Таласса, Деспина, Галатея и Ларисса). У всех этих девятнадцати спутников «месяц» длится меньше, чем «сутки» той планеты, вокруг которой они вращаются. «Судьба» таких спутников «печальна» – в некоторой недалёкой по космическим меркам перспективе они просто упадут на свои планеты.

С вопросом, сколько может длиться «месяц», созвучен и вопрос о том, сколько «месяцев» может быть в «году»? Иными словами, сколько оборотов вокруг своей планеты успевают совершить спутники за то время, за которое его планета совершит один оборот вокруг Солнца?

Из всех планетоподобных спутников больше всего оборотов вокруг своей планеты в течение «года» самой планеты успевают совершить спутники Урана Миранда, а меньше всего – наша Луна.

Уран совершает один оборот вокруг Солнца за 30 685,40 суток, а Миранда вокруг Урана – за 1,413479 суток. За один «год» Урана Миранда успевают совершить

$$\frac{30\,685,40}{1,413479} = 21\,709 \text{ орбитальных оборотов.}$$

Земля совершает один оборот вокруг Солнца за 365,25636 суток, а Луна вокруг Земли – за 27,321661 суток. За один земной год Луна успевают совершить только

$$\frac{365,25636}{27,321661} = 13,37 \text{ орбитальных оборотов.}$$

Что же касается обломочных спутников, то больше всего оборотов вокруг планеты в течение её «года» успевают совершить вышеупомянутый спутник Нептуна Наяда, а меньше всего – самый далёкий из спутников Юпитера, который до сих пор остаётся безымянным и обозначается кодом S/2003 J2 (средний диаметр этого крошечного спутника составляет лишь около 4 км).

Нептун совершает один оборот вокруг Солнца за 60 189,0 суток, а Наяда вокруг Нептуна – за 0,294396 суток. За один «год» Нептуна Наяда успевают совершить

$$\frac{60\,189,0}{0,294396} = 204\,450 \text{ орбитальных оборотов.}$$

Юпитер совершает один оборот вокруг Солнца за 4 332,589 суток, а спутник S/2003 J2 вокруг Юпитера – за 982,5 суток. За один «год» Юпитера спутник S/2003 J2 успевают совершить только

$$\frac{4\,332,589}{982,5} = 4,41 \text{ орбитальных оборота.}$$

Следует оговориться, что в последнее время появились сообщения, в которых ранние оценки орбитальных параметров спутника S/2003 J2 серьёзно пересматриваются, хотя на официальном сайте НАСА они пока остаются теми же самыми. Если поставить под сомнение ранние данные по спутнику S/2003 J2 и по некоторым другим таким же крошечным спутникам Юпитера, то тогда можно ещё раз упомянуть о спутнике Нептуна Несо. Как уже говорилось, Нептун совершает один оборот вокруг Солнца за 60 189,0 суток, а Несо вокруг Нептуна – за 9374,0 суток. За один «год» Нептуна Несо успевают совершить

$$\frac{60\,189,0}{9374,0} = 6,4208 \text{ орбитальных оборотов.}$$

Подводя итог всему вышесказанному, отметим, что у планетоподобных спутников «месяц» может длиться примерно от одних земных суток (у Мимаса) до почти двух с половиной наших месяцев (у Япета). А что касается обломочных спутников, то у них «месяц» может длиться от семи часов (у Наяды) до двадцати пяти с половиной лет (у Несо). Как мы могли увидеть, в девятнадцати случаях «месяц» спутника даже короче, чем «сутки» своей планеты, но нет ни одного случая, чтобы «месяц» спутника был дольше, чем «год» своей планеты.

Дополнение 14. Периоды обращения Земли и других планет вокруг Солнца

Период обращения Земли вокруг Солнца T_3 составляет 365,25636 суток. Казалось бы, тут нечего комментировать, ведь период обращения Земли вокруг Солнца – это просто один земной год. Но, оказывается, даже такое понятие как один земной год требует некоторого уточнения, что же именно имеется в виду. Обычно (и в этой книге тоже), когда говорят о земном годе, подразумевают так называемый сидерический год – период времени, за который Земля совершает один оборот вокруг Солнца в системе координат, привязанной к мировому пространству, то есть к условно неподвижным звёздам, находящимся на условно бесконечном расстоянии.

Это означает, что если бы гипотетический наблюдатель, находящийся на Солнце, в какой-то момент времени зафиксировал бы точное положение Земли на фоне бесконечно удалённых звёзд, то Земля с точки зрения гипотетического солнечного наблюдателя вернулась бы точно в то же самое положение на фоне звёзд ровно через один сидерический год, то есть через 365,25636 суток (365 суток 6 часов 9 минут 10 секунд). Справедливо и более реалистично обратное, то есть, если бы земной наблюдатель зафиксировал бы точное положение Солнца на фоне звёзд (этому, правда, мешает ослепительный свет Солнца), то Солнце с точки зрения земного наблюдателя вернулось бы точно в то же самое положение на фоне звёзд ровно через один сидерический год.

Сидерический год не следует путать с периодом, за который Земля совершает один оборот вокруг Солнца от точки перигелия (максимального сближения с Солнцем) до следующего возвращения в точку перигелия – такой период называется аномалистическим годом. Аномалистический год длится 365,25964 солнечных суток (365 дней 6 часов 13 минут 53 секунды), то есть на 4 минуты 43 секунды дольше, чем сидерический год. Как видим, разница между сидерическим и аномалистическим годом совсем невелика, но ради строгости понятий требовалось отдельно оговорить, что именно мы подразумеваем под одним годом.

Причина различия продолжительности сидерического и аномалистического года кроется в том, что земная орбита не занимает строго фиксированного положения в Мировом пространстве. В частности, её большая ось очень медленно вращается в

пределах плоскости земной орбиты, что и приводит к очень небольшому, но систематическому ежегодному смещению точки перигелия. Представим, что в первоначальный момент Земля находится в точке перигелия. После того как пройдёт ровно один сидерический год, и Земля совершит один полный оборот вокруг Солнца в системе координат, привязанной к мировому пространству, ей требуется ещё почти пять минут, чтобы догнать «убежавшую» точку перигелия.

Продолжительность сидерического «года» $T_{Пл}$ для главных планет и карликовой планеты Плутон приведена в Таблице Д-9.

Таблица Д-9.

Сидерические периоды обращения вокруг Солнца главных планет Солнечной системы и карликовой планеты Плутон

Планета	Сидерический период обращения вокруг Солнца $T_{Пл}$	
	(в земных сутках)	(в земных годах)
[1]	[2]	[3]
Меркурий	87,969	0,2408
Венера	224,701	0,6152
Земля	365,25636	1,0000
Марс	686,980	1,8808

Планета	Сидерический период обращения вокруг Солнца $T_{Пл}$	
	(в земных сутках)	(в земных годах)
[1]	[2]	[3]
Юпитер	4 332,589	11,8618
Сатурн	10 759,22	29,4566
Уран	30 685,40	84,0106
Нептун	60 189,0	164,786
Плутон	90 560,0	247,935

Дополнение 15. Осевое вращение планет и продолжительность «года» планет, выраженная в звёздных «сутках» этих планет

Для того, чтобы попытаться найти аналоги четвёртого базового совпадения в других системах Солнце-планета-спутник, необходимо знать продолжительность «года» планет $T_{Пл}$, выраженную в звёздных «сутках» самих планет $t_{Пл зв}$. Эти данные приведены в пятой колонке Таблицы Д-10. Чтобы получить периоды обращения планет вокруг Солнца, выраженные в звёздных «сутках» планеты, надо разделить эти же периоды, выраженные в земных сутках (четвёртая колонка Таблицы Д-10), на продолжительность звёздных «суток» соответствующей планеты (третья колонка Таблицы Д-10).

Напомним, что звёздными «сутками» других планет $t_{Пл зв}$, как и в случае Земли, называют период, за который планета совершает один оборот вокруг своей оси в системе координат, привязанной к мировому пространству, то есть к условно бесконечно удалённым и условно неподвижным звёздам. Солнечными же «сутками»

других планет $t_{\text{Пл сол}}$, как и в случае Земли, называют период смены дня и ночи. На нашей планете звёздные сутки $t_{\text{Зв}}$ делятся 23 часа 56 минут 04.1 секунды (23,9345 часов или 0,997271 обычных солнечных суток), а солнечные сутки $t_{\text{сол}}$ – 24 часа ровно.

Таблица Д-10.

Продолжительность звёздных «суток» и периоды обращения вокруг Солнца главных планет Солнечной системы и карликовой планеты Плутон

Планета	Продолжительность звёздных «суток»		Период обращения вокруг Солнца	
	$t_{\text{Пл зв}}$		$T_{\text{Пл}}$	
	(в часах)	(в земных сутках)	(в земных сутках)	(в звёздных «сутках» планеты) [4] : [3]
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Меркурий	1407,6	58,65	87,969	1,4999
Венера*	5832,6	243,02	224,701	0,9246
Земля	23,9345	0,997271	365,25636	366,25636
Марс	24,6229	1,025954	686,980	669,601
Юпитер	9,9250	0,41354	4 332,589	10 476,78
Сатурн	10,656	0,4440	10 759,22	24 232,5
Уран*	17,24	0,7183	30 685,40	42 719,5
Нептун	16,11	0,6713	60 189,0	89 660,4
Плутон*	153,2928	6,3872	90 560,0	14 178,4

* - Венера, Уран и Плутон вращаются вокруг своих осей в обратную сторону, чем они обращаются вокруг Солнца.

Самой быстро вращающейся вокруг своей оси планетой является Юпитер. Звёздные «сутки» на Юпитере делятся всего лишь 9 часов 55 минут 30 секунд (9,9250 часов или 0,41354 земных суток). Другие планеты-гиганты тоже вращаются значительно быстрее, чем наша Земля, но всё-таки медленнее, чем Юпитер.

Вопрос о периодах осевого вращения планет-гигантов, вообще, является не вполне однозначным, так как ни одна из этих планет не вращается вокруг своей оси как единое целое. Как уже обсуждалось в Дополнении 11, у этих планет нет чётко выраженных твёрдых или жидких поверхностей. Что же касается верхнего облачного слоя, условно принимаемого в качестве поверхности каждой из этих планет, то он во всех четырёх случаях имеет разную скорость вращения на разных широтах. Так, у Юпитера и Сатурна быстрее всего вращаются экваториальные зоны (так же, как и у Солнца), а у Нептуна, наоборот, экваториальная зона вращается наиболее медленно. Неравномерное вращение отмечается и для различных широтных зон Урана.

В качестве периодов осевого вращения планет-гигантов принимаются периоды вращения их магнитного поля, генерируемого в глубоких недрах этих планет, которые

были определены в результате измерений околопланетных магнитных полей, выполненных автоматическими межпланетными станциями. Эти определения более точны для Юпитера и Сатурна и менее точны для Урана и Нептуна, в окрестностях которых автоматические межпланетные станции пока что пролетали только по одному разу (это была одна и та же станция «Вояджер-2», в 1986 году пролетевшая вблизи Урана, а в 1989 году – вблизи Нептуна).

Почти с таким же периодом, как и Земля, вращается вокруг своей оси Марс – звёздные «сутки» на этой планете длятся 24 часа 37 минут 22,4 секунды (24,6229 часов или 1,025954 суток). Вопрос о периоде осевого вращения Марса принципиальных сложностей не представляет. Марс вращается как единое целое, имеет твёрдую поверхность с большим количеством хорошо различимых деталей, а его атмосфера прозрачна в оптическом диапазоне и почти лишена облачности.

Медленнее всех вокруг своей оси вращается Венера. Звёздные «сутки» на этой планете длятся... примерно восемь наших месяцев или, более точно, 243,02 земных суток. Один оборот вокруг своей оси Венера совершает даже медленнее, чем она успевает совершить один оборот вокруг Солнца (224,701 земных суток)! Очень медленно вращается вокруг своей оси и Меркурий, звёздные «сутки» на котором длятся примерно два месяца – 58,65 земных суток.

Долгое время периоды осевого вращения Венеры и Меркурия оставались неизвестными. Хотя каждая из этих планет вращается как единое целое и имеет твёрдую поверхность с большим количеством деталей рельефа, однако наблюдать эти детали рельефа, находясь на Земле, практически невозможно. Так, Венера просто целиком окутана сплошным облачным слоем, непрозрачным в оптическом диапазоне. Что же касается Меркурия, то хотя у этой планеты нет атмосферы, но земной наблюдатель всегда видит Меркурий близко от Солнца, ослепительный свет которого мешает наблюдению каких-либо деталей на его поверхности.

Впрочем, в настоящее время учёные располагают детальными картами рельефа как Венеры, так и Меркурия, а также знают периоды осевого вращения этих планет. Облачная атмосфера Венеры оказалась прозрачна в радиодиапазоне, поэтому поверхность этой планеты можно «разглядеть» с помощью радиолокации, которая первоначально (ещё в шестидесятые годы двадцатого века) проводилась непосредственно с Земли, а затем с гораздо большей детальностью была выполнена с искусственных спутников Венеры. Ну а детальные карты Меркурия были получены с помощью автоматических межпланетных станций, неоднократно пролетавших в окрестностях этой планеты и фотографировавших её с близкого расстояния.

Примечательно, что две самых близких к Солнцу планеты характеризуются чрезвычайно медленным осевым вращением. Безусловно, важную роль в характере вращения Меркурия и Венеры сыграло оказываемое Солнцем приливное торможение, хотя возможно, что медленному вращению этих планет поспособствовали и какие-то иные факторы, например, столкновения в прошлом с другими космическими телами.

Медленное осевое вращение, впрочем, свойственно и для карликовой планеты Плутон, которая, наоборот, удалена от Солнца на очень большое расстояние, поэтому о приливном торможении со стороны Солнца как о причине медленного вращения Плутона не может быть и речи. Но зато Плутон испытывал очень сильное приливное

торможение со стороны своего крупного планетоподобного спутника Харона. К настоящему времени система Плутон-Харон полностью синхронизирована, в результате чего и сам Плутон совершает один оборот вокруг своей оси точно за такой же период, за какой Харон совершает один орбитальный оборот вокруг Плутона (6,3872 земных суток).

Большинство вращений в Солнечной системе (как осевых, так и орбитальных) происходит в одну и ту же сторону – против часовой стрелки, если смотреть со стороны Полярной звезды. В эту сторону обращаются по своим орбитам вокруг Солнца все планеты (в том числе карликовые), а также подавляющее большинство астероидов, транснептуновых объектов и комет (как уже было отмечено в Дополнении 12, самым известным примером космического тела, обращающегося вокруг Солнца в «обратную» сторону, является комета Галлея).

В ту же сторону, в которую происходит обращение почти всех объектов Солнечной системы вокруг Солнца, вращается вокруг своей оси и само Солнце. В ту же самую сторону вращаются вокруг своих осей и большинство главных планет (Меркурий, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн и Нептун). Но что касается Венеры и Урана, а также карликовой планеты Плутон, то они вращаются вокруг своих осей в «обратном» направлении (при этом вокруг Солнца эти три планеты обращаются в «прямом» направлении, то есть, в ту же самую сторону, что и все остальные планеты).

Оси вращения планет могут быть ориентированы относительно плоскостей своих орбит по-разному. Общеизвестно, что ось вращения Земли наклонена по отношению к перпендикуляру к плоскости земной орбиты на $23^{\circ}26'$. Наклоном оси вращения обуславливается смена времён года на нашей планете и определяется положение на её поверхности таких линий, как северный и южный тропики, а также северный и южный полярные круги.

Интересно, что близкое значение наклона оси вращения к перпендикуляру к плоскости орбиты имеют Марс ($25^{\circ}11'$), Сатурн ($26^{\circ}44'$) и Нептун ($28^{\circ}19'$).

Ещё у трёх планет ось вращения почти совпадает с перпендикуляром к плоскости орбиты: Меркурий ($0^{\circ}02'$), Венера ($-2^{\circ}38'$) и Юпитер ($3^{\circ}08'$). Знак минус для Венеры и далее для Урана и Плутона обозначает их «обратное» осевое вращение.

Очень необычно вращение Урана. Ось вращения этой планеты лежит близко к плоскости её орбиты, а наклон оси вращения Урана к перпендикуляру к плоскости орбиты составляет $-82^{\circ}14'$. Что же касается карликовой планеты Плутон, то у неё наклон оси вращения к перпендикуляру к плоскости орбиты составляет $-57^{\circ}28'$.

Дополнение 16. Соотношения средних диаметров планет и их планетоподобных спутников

В Таблице Д-11 приведены средние диаметры планет $D_{\text{Пл сред}}$ и их планетоподобных спутников $D_{\text{Сп сред}}$, а также прямые ($D_{\text{Пл сред}}/D_{\text{Сп сред}}$) и обратные ($D_{\text{Сп сред}}/D_{\text{Пл сред}}$) отношения этих диаметров для каждого спутника.

Таблица Д-11.

Соотношения средних диаметров планет и их планетоподобных спутников

Спутник	Средний диаметр спутника $D_{\text{сп сред}}$		Отношение среднего диаметра планеты к среднему диаметру спутника $\frac{D_{\text{пл сред}}}{D_{\text{сп сред}}}$	Отношение среднего диаметра спутника к среднему диаметру планеты $\frac{D_{\text{сп сред}}}{D_{\text{пл сред}}}$
	(км)	(в средних диаметрах Луны)		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Спутник Земли (средний диаметр Земли – 12 742,000 км)				
Луна	3 474,8	1,0000	3,6669736	0,27270444
Спутники Юпитера (средний диаметр Юпитера – 139 822 км)				
Ио	3 643,0	1,0484	38,381005	0,02605456
Европа	3 121,6	0,8984	44,791773	0,02232553
Ганимед	5 262,4	1,5144	26,570006	0,03763642
Каллисто	4 820,6	1,3873	29,005103	0,03447669
Спутники Сатурна (средний диаметр Сатурна – 116 464 км)				
Мимас	396,4	0,1141	293,80424	0,00340363
Энцелад	504,2	0,1451	230,98770	0,00432923
Тефия	1 062,2	0,3057	109,64413	0,00912041
Диона	1 122,8	0,3231	103,72640	0,00964075
Рея	1 527,0	0,4394	76,269810	0,01311135
Титан	5 150,0	1,4821	22,614369	0,04421967
Япет	1 468,6	0,4226	79,302737	0,01260991
Спутники Урана (средний диаметр Урана – 50 724 км)				
Миранда	471,6	0,1357	107,55725	0,00929737
Ариэль	1 157,8	0,3332	43,810675	0,02282549
Умбриэль	1 169,4	0,3365	43,376090	0,02305418
Титания	1 577,8	0,4541	32,148561	0,03110559
Оберон	1 522,8	0,4382	33,309693	0,03002129
Спутник Нептуна (средний диаметр Нептуна – 49 244 км)				
Тритон	2 706,8	0,7790	18,192700	0,05496710
Спутник карликовой планеты Плутон (средний диаметр Плутона – 2 376 км)				
Харон	1 212	0,3488	1,960396	0,5101010

Из спутников главных планет самой крупной на фоне своей планеты является наша Луна, средний диаметр которой составляет 27,27% среднего диаметра Земли. Крупнее Луны на фоне своей планеты выглядит только Харон, средний диаметр которого составляет 51,01% от среднего диаметра Плутона. Впрочем, как уже неоднократно отмечалось, Харон не является спутником какой-либо из главных планет, а является лишь спутником карликовой планеты.

На фоне планет-гигантов их спутники выглядят значительно меньше. На втором месте после Луны по этому показателю идёт Тритон, средний диаметр которого составляет лишь 5,50% от среднего диаметра Нептуна. На третьем месте – Титан, средний диаметр которого составляет 4,42% от среднего диаметра Сатурна. А на четвёртом месте идёт Ганимед, самый крупный спутник Юпитера и, вообще, самый крупный спутник в Солнечной системе, при этом средний диаметр Ганимеда составляет лишь 3,76% от среднего диаметра Юпитера. Из планетоподобных спутников на последнем месте находится Мимас, средний диаметр которого составляет всего лишь 0,34% от среднего диаметра Сатурна.

Дополнение 17. Продолжительность солнечных «суток» на планетах

Солнечными «сутками» других планет, как и солнечными сутками нашей Земли, называют период смены дня и ночи. Продолжительность солнечных «суток» $t_{\text{Пл сол}}$ на главных планетах и карликовой планете Плутон приведена в Таблице Д-12.

Таблица Д-12.

Продолжительность солнечных «суток» на главных планетах Солнечной системы и карликовой планете Плутон

Планета	Продолжительность солнечных «суток» $t_{\text{Пл сол}}$		Планета	Продолжительность солнечных «суток» $t_{\text{Пл сол}}$	
	(в часах)	(в земных сутках)		(в часах)	(в земных сутках)
[1]	[2]	[3]	[1]	[2]	[3]
Меркурий	4222,6	175,942	Юпитер	9,9259	0,41358
Венера*	2802,0	116,750	Сатурн	10,656	0,4440
Земля	24,0000	1,000000	Уран*	17,24	0,7183
Марс	24,6597	1,027488	Нептун	16,11	0,6713
			Плутон*	153,2820	6,3868

* - Венера, Уран и Плутон вращаются вокруг своих осей в обратную сторону, чем они обращаются вокруг Солнца.

Солнечные «сутки» не следует путать со звёздными «сутками». Напомним ещё раз, что звёздными «сутками» называется период, за который планета совершает один оборот вокруг своей оси в системе координат, привязанной к мировому пространству, то есть к условно бесконечно удалённому и условно неподвижным звёздам. Если планета вращается вокруг своей оси в ту же сторону, в которую она обращается вокруг Солнца, то солнечные «сутки» на такой планете длятся дольше, чем звёздные. К таким планетам относятся Меркурий, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн и Нептун. Если же планета вращается вокруг своей оси в обратную сторону, чем она обращается вокруг Солнца, то солнечные «сутки» на такой планете длятся короче, чем звёздные. К таким планетам относятся Венера, Уран, а также карликовая планета Плутон.

Солнечные сутки на нашей планете $t_{\text{сол}}$ длятся 24 часа ровно, тогда как звёздные сутки $t_{\text{зв}}$ длятся 23 часа 56 минут 04,1 секунды (23,9345 часов или 0,997271 обычных солнечных суток). Различие между солнечными и звёздными сутками на Земле составляет чуть меньше четырёх минут. На Марсе солнечные и звёздные «сутки» различаются примерно на две минуты, на Плуtone – чуть больше, чем на пол минуты, тогда как на Юпитере, Сатурне, Уране и Нептуне – всего лишь на первые секунды.

А вот на Венере и на Меркурии и солнечные и звёздные сутки длятся очень долго и при этом в обоих случаях они различаются между собой примерно на четыре земных месяца. Правда, на Меркурии солнечные «сутки» на четыре месяца длиннее звёздных, а на Венере, наоборот, на четыре месяца короче.

Самые длинные солнечные «сутки» среди всех планет отмечаются для Меркурия – на этой планете смена дня и ночи происходит за 175,942 суток (то есть, по нашим земным меркам лишь чуть меньше чем за полгода), тогда как период обращения Меркурия вокруг Солнца составляет всего лишь 87,969 суток – вот уж где, действительно, и дольше «года» длится «день»! При этом, что уж совсем удивительно, одни меркурианские солнечные «сутки» длятся практически ровно два меркурианских «года»:

$$175,942 : 87,969 = 2,000045.$$

Дополнение 18. Периоды орбитального обращения планетоподобных спутников, выраженные в солнечных «сутках» своих планет

Найти продолжительность «месяца» спутника $T_{\text{сп}}$, выраженную в солнечных «сутках» его планеты $t_{\text{пл сол}}$ не составляет большого труда. Мы знаем выраженные в земных сутках значения продолжительности «месяца» $T_{\text{сп}}$ для каждого спутника (см. Таблицу 5 в Главе VI) и знаем продолжительность солнечных «суток» $t_{\text{пл сол}}$ на каждой планете (см. Таблицу Д-12 в Дополнении 17). Остаётся только взять калькулятор и разделить первое на второе. Результаты этих несложных расчётов приведены в Таблице Д-13.

Таблица Д-13.

Периоды обращения планетоподобных спутников вокруг своих планет, выраженные в земных сутках и в солнечных «сутках» соответствующих планет

Спутник	Период обращения спутника вокруг планеты $T_{СП}$	
	в земных сутках	в солнечных «сутках» планеты
[1]	[2]	[3]
Спутник Земли (солнечные сутки Земли – 1,0000 суток)		
Луна	27,321661	27,321661
Спутники Юпитера (солнечные «сутки» Юпитера – 0,41358 земных суток)		
Ио	1,769138	4,2776
Европа	3,551181	8,5864
Ганимед	7,154553	17,2990
Каллисто	16,689017	40,3526
Спутники Сатурна (солнечные «сутки» Сатурна – 0,4440 земных суток)		
Мимас	0,942422	2,123
Энцелад	1,370218	3,086
Тетфия	1,887802	4,252
Диона	2,736915	6,164
Рея	4,517500	10,175

Спутник	Период обращения спутника вокруг планеты $T_{СП}$	
	в земных сутках	в солнечных «сутках» планеты
[1]	[2]	[3]
Титан	15,945421	35,913
Япет	79,330183	178,672
Спутники Урана (солнечные «сутки» Урана – 0,7183 земных суток)		
Миранда	1,413479	1,968
Ариэль	2,520379	3,509
Умбриэль	4,144176	5,769
Титания	8,705867	12,120
Оберон	13,463234	18,743
Спутник Нептуна (солнечные «сутки» Нептуна – 0,6713 земных суток)		
Тритон	5,876854	8,754
Спутник карликовой планеты Плутон (солнечные «сутки» Плутона – 6,3868 земных суток)		
Харон*	6,3872	1,00006

* - система Плутон-Харон является полностью синхронизированной. Звёздные «сутки» на Плуtone длятся 6,3872 земных суток, то есть, ровно столько же, сколько один орбитальный оборот Харона вокруг Плутона.

Дополнение 19. К вопросу о возможных изменениях размеров Солнца, Земли и Луны

Размеры Солнца, Земли и Луны напрямую «задействованы» в рассматриваемых базовых совпадениях, поэтому вопрос об их возможных изменениях с течением времени требует отдельного рассмотрения.

Начнём с Солнца. Известно, что Солнце испытывает очень небольшие короткопериодические пульсации, а кроме того по поверхности Солнца словно по

поверхности океана бегут волны. Эти явления были обнаружены благодаря измерениям эффекта Доплера в разных точках солнечной поверхности. Чувствительность этих методов очень высокая, и высота волн, которые регистрируются на поверхности Солнца, может составлять всего лишь несколько десятков метров. Раздел астрономии, посвящённый изучению волн, распространяющихся как по поверхности Солнца, так и по всему его объёму внутри, называется гелиосейсмологией.

Как видим, современная наука располагает удивительными возможностями отслеживать тончайшие эффекты, связанные с изменением формы поверхности Солнца. Но вместе с тем, никакими данными, которые бы указывали, что диаметр Солнца испытывает какие-то однонаправленные систематические изменения, современная наука не располагает. А это значит, что такие изменения, если они и происходят, являются столь малыми, что применительно к нашим задачам ими можно полностью пренебречь.

Теоретические астрофизические модели показывают, что звёзды (в том числе, и наше Солнце) в течение большей части своей жизни сохраняют свои размеры примерно постоянными. В нынешнюю эпоху Солнце находится в середине своего жизненного цикла и, как считается, оно должно сейчас быть в своём наиболее стабильном состоянии. Поэтому в рамках задач, решаемых в этой книге, мы можем условно считать диаметр Солнца неизменным.

Перейдём к размерам Земли, и, прежде всего, напомним, что вообще подразумевается под этими размерами. Традиционно, когда говорят о размерах нашей планеты, подразумевают размеры геоида – теоретической фигуры, поверхность которой совпадает с уровнем вод Мирового океана в невозмущённом состоянии и условно продолжается под материками и островами. При таком понимании размеров Земли вопрос об их возможных изменениях в каком-то смысле может быть сведён к вопросу об изменениях уровня Мирового океана.

Что же касается уровня океана, то хорошо известно, что в геологическом прошлом он испытывал колебания, размах которых достигал нескольких сотен метров. Конечно, прямыми измерениями уровня океана в далёком прошлом наука не располагает, но его можно довольно достоверно оценить для разных эпох на основании сложного учёта различных геологических данных.

Главной причиной наиболее масштабных колебаний уровня океана являются существенные изменения формы его дна, связанные с тектоническими процессами, прежде всего, с ускорением и замедлением разрастания срединно-океанических хребтов. Наиболее высоким за последние двести миллионов лет уровень океана был во второй половине мелового периода, примерно 100 миллионов лет назад. Уровень океана в это время мог быть на 250 метров выше, чем в настоящее время.

Но есть и ещё одна очень важная причина существенных колебаний уровня Мирового океана, которая проявляется в те эпохи, когда на Земле существуют крупные материковые ледники типа современных ледников Антарктиды и Гренландии. При росте таких ледников мобилизуются большие массы воды, и это приводит к снижению уровня океана. А при таянии этих ледников, наоборот, происходит высвобождение

воды и соответствующее повышение уровня океана. В самые последние геологические эпохи колебания уровня океана обусловлены в основном чередующимися ростом и частичным таянием крупных материковых ледников. Так, в частности, считается, что всего лишь двадцать тысяч лет назад, когда в северной части Европы и на значительной территории Канады существовали крупные материковые ледники, уровень океана был примерно на 120 метров ниже, чем в настоящее время.

Однако, по сравнению с размерами земного шара любые колебания уровня океана, происходившие в геологической истории, всё-таки очень малы. Даже если принять максимальную оценку подъёма уровня океана во второй половине мелового периода (около 250 м), то средний диаметр Земли при этом был больше современного всего лишь примерно на 500 м, то есть, всего лишь на 0,004%. В рамках задач, решаемых в этой книге, средний диаметр Земли можно считать постоянным.

Что же касается «твёрдой» Земли, то она в масштабе геологического времени испытывает очень быстрые и интенсивные изменения своей формы: движение континентов, воздымание и последующее разрушение высочайших горных систем, образование впадин и их последующее заполнение осадочным материалом, разрастание океанического дна в зонах срединно-океанических хребтов и его поглощение в зонах глубоководных океанических желобов. В сравнении с другими планетами земной группы, Луной и планетоподобными спутниками планет-гигантов геологическая жизнь нашей планеты очень бурная. И вместе с тем, наука не располагает никакими данными, которые бы указывали, что объём «твёрдой» Земли, а значит и её средний диаметр испытывали бы хоть какие-то систематические однонаправленные изменения с течением геологического времени. Конечно, чисто теоретически можно говорить о том, что объём «твёрдой» Земли должен в какой-то мере увеличиваться из-за выпадения метеоритов, но рост размеров Земли по причине поступления твёрдого материала из космоса, конечно же, совершенно ничтожен.

Что касается Луны, то опять-таки чисто теоретически можно сказать, что её объём должен несколько возрасть с течением времени за счёт накопления на её поверхности выпадающего из космоса метеоритного вещества. Однако, изменения размеров Луны, которые происходят по этой причине, также должны быть совершенно ничтожными.

Дополнение 20. К вопросу о возможных изменениях массы Солнца, Земли и Луны

Ни в одном из рассматриваемых базовых совпадений не фигурируют массы Солнца, Земли и Луны, во всяком случае, не фигурируют напрямую. Правда, в четвёртом базовом совпадении «задействован» период обращения Земли вокруг Солнца T_3 , который определяется не только средним расстоянием от Земли до Солнца $L_{3\text{Сред}}$, но и массой Солнца $M_{\text{с}}$. А в третьем и пятом базовых совпадениях

«задействован» период обращения Луны вокруг Земли T_L , который, в свою очередь, определяется не только расстоянием от Земли до Луны $L_{ЗЛ\text{сред}}$, но и массой Земли $M_З$.

Как обсуждалось в Главе IX, с течением геологического времени происходит общее систематическое удаление Земли от Солнца и Луны от Земли, что, соответственно, ведёт к увеличению продолжительности периодов обращения Земли вокруг Солнца $T_З$ и обращения Луны вокруг Земли T_L . Но изменение периода обращения одного космического тела вокруг другого может происходить также и из-за изменения массы центрального тела. При прочих равных условиях период обращения спутника становится короче, если масса центрального тела увеличивается, и, наоборот, период обращения спутника становится длиннее, если масса центрального тела уменьшается. Поэтому нам необходимо хотя бы коротко коснуться вопроса о том, меняются ли масса Солнца M_C и масса Земли $M_З$ с течением времени.

Масса Солнца M_C постоянно уменьшается сразу по двум причинам. Первая из них – это протекание реакций термоядерного «горения» в солнечном ядре, прежде всего, реакция превращения водорода в гелий. В ходе этой многоэтапной реакции четыре протона сливаются в одно ядро гелия-4, при этом происходит выделение энергии и уменьшение массы примерно на 0,7% массы задействованного вещества. Ещё одной причиной, ведущей к уменьшению массы Солнца является солнечный ветер – поток ионизированных частиц, распространяющийся из внешней части солнечной короны в окружающее пространство. Процессы, которые ведут к уменьшению массы Солнца, принципиально понятны, однако количественные оценки этих процессов, приводимые в разных научных источниках, различаются. Следует отметить, что масса Солнца может испытывать и некоторый прирост, например, из-за происходящих иногда столкновений с кометами и другими мелкими объектами, но, по-видимому, суммарный эффект от этого процесса должен быть совершенно ничтожен.

Возьмём для наших целей данные с официального сайта НАСА, где указано, что скорость преобразования массы в энергию составляет на Солнце 4260×10^6 кг/с, то есть больше четырёх миллионов тонн в секунду! С учётом того, что одни сутки делятся 86 400 секунд, а один год – 365,25636 суток, нетрудно посчитать, что при такой скорости преобразования массы в энергию масса Солнца должна уменьшиться за сто миллионов лет на

$$4260 \times 10^6 \text{ кг/с} \times 86\,400 \times 365,25636 \times 100\,000\,000 = 13,4438 \times 10^{24} \text{ кг},$$

что более чем в два раза больше, чем масса Земли ($M_З = 5,9722 \times 10^{24}$ кг). Но по сравнению с массой самого Солнца ($M_C = 1\,988\,500 \times 10^{24}$ кг) её расчётное уменьшение за 100 миллионов лет составляет только 0,0007%. Так что, в любом случае, если речь идёт о нескольких сотнях миллионов лет, то изменением массы Солнца для наших задач можно пренебречь, и в настоящей работе она условно принимается постоянной.

Масса Земли $M_З$, которая, как уже было сказано выше, в настоящее время составляет $5,9722 \times 10^{24}$ кг, тоже не остаётся неизменной. С одной стороны, она постоянно испытывает некоторое уменьшение за счёт процесса диссипации (утечки) лёгких газов в космическое пространство из самых верхних слоёв атмосферы. С другой стороны, масса Земли постоянно испытывает и некоторый прирост за счёт падения

метеоритов, а иногда и за счёт столкновений с более крупными объектами, такими как астероиды и кометы. К счастью, столкновения с крупными объектами происходят всё-таки довольно редко даже по меркам геологического времени. Оба этих противоположно направленных процесса (утечка лёгких газов из атмосферы и падение объектов из космоса) за относительно короткое по геологическим меркам время, измеряемое миллионами и десятками миллионов лет (а может быть и сотнями миллионов, и даже миллиардами лет), скорее всего, не успевают привести к сколь-либо существенным изменениям массы Земли, поэтому в настоящей работе она также принимается условно постоянной.

Чисто теоретически не остаётся неизменной и масса Луны M_L , которая в настоящее время составляет $0,07346 \times 10^{24}$ кг. С течением времени она должна несколько возрастать за счёт падения на её поверхность метеоритов и редких столкновений с астероидами и кометами, но прирост массы Луны по этой причине, как и в случае Земли, должен быть совершенно ничтожен.

Дополнение 21. Расчёт модельных значений среднего расстояния от Земли до Солнца и связанных с ним параметров для различных моментов геологического времени

Если экстраполировать современную скорость систематического удаления Земли от Солнца ($15 \text{ см/год} = 150 \text{ км/млн лет}$) на длительные интервалы геологического времени, то модельное среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$, выраженное в тысячах километров, можно рассчитать для любого момента времени t по формуле:

$$L_{ЗСредt} = L_{ЗСред0} + 0,150 \times t,$$

где: $L_{ЗСред0}$ – среднее расстояние от Земли до Солнца в настоящую эпоху (149 598 тыс. км);
 t – время в миллионах лет (со знаком «+» для будущего и со знаком «–» для прошлого).

Полученные для различных моментов времени в прошлом и будущем модельные значения среднего расстояния от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$, выраженные в тысячах километров, приведены во второй колонке Таблицы Д-14. Эти же значения, но выраженные в современных средних расстояниях от Земли до Солнца $L_{ЗСред0}$, приведены в третьей колонке (иными словами, в третьей колонке приведены значения отношения $L_{ЗСредt} / L_{ЗСред0}$).

Зная, как с течением времени увеличивается среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$, можно с помощью третьего закона Кеплера оценить увеличение периода обращения Земли вокруг Солнца $T_{Зt}$ (земного года). Согласно третьему закону Кеплера квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний до Солнца. В настоящее время среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСред0}$ составляет 149 598 тыс. км, а период обращения Земли вокруг Солнца

T_{30} равен 365,25636 суток. В любой другой момент времени t Земля может условно рассматриваться как ещё одна планета, обращающаяся вокруг Солнца на среднем расстоянии $L_{3Средt}$ с периодом обращения вокруг Солнца T_{3t} , для которой также будет выполняться третий закон Кеплера:

$$\frac{L_{3Средt}^3}{L_{3Сред0}^3} = \frac{T_{3t}^2}{T_{30}^2}$$

Очевидно, что если отношение ($L_{3Средt} / L_{3Сред0}$), значения которого приведены в третьей колонке Таблицы Д-14, возвести в куб, а из полученного числа извлечь квадратный корень, то получим отношение (T_{3t} / T_{30}), значения которого приведены в четвёртой колонке. Отношение (T_{3t} / T_{30}) – это ни что иное, как продолжительность земного года для момента геологического времени t , выраженная в современных земных годах. Остаётся умножить значение отношения (T_{3t} / T_{30}) на 365,25636 и в результате получаем продолжительность земного года для момента геологического времени t , выраженную в современных земных сутках, которая приведена в пятой колонке Таблицы Д-14.

Таблица Д-14.

Модельные оценки изменения среднего расстояния от Земли до Солнца и периода обращения Земли вокруг Солнца с течением геологического времени

Время t	Среднее расстояние от Земли до Солнца		Период обращения Земли вокруг Солнца	
	в тыс. км	в современных средних расстояниях от Земли до Солнца	в современных годах	в современных сутках
	$L_{3Средt}$	$\frac{L_{3Средt}}{L_{3Сред0}}$	$\frac{T_{3t}}{T_{30}}$	T_{3t}
		[2] : 149 598	$\sqrt{[3]^3}$	[4] × 365,25636
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
500 млн лет назад	149 523	0,999499	0,99924859	364,98190
400 млн лет назад	149 538	0,999599	0,99939856	365,03668
300 млн лет назад	149 553	0,999699	0,99954853	365,09146
200 млн лет назад	149 568	0,999799	0,99969852	365,14624
100 млн лет назад	149 583	0,999900	0,99985000	365,20157
настоящее время	149 598	1,000000	1,00000000	365,25636
через 100 млн лет	149 613	1,000100	1,00015000	365,31115
через 200 млн лет	149 628	1,000201	1,00030151	365,36649
через 300 млн лет	149 643	1,000301	1,00045153	365,42128
через 400 млн лет	149 658	1,000401	1,00060156	365,47608
через 500 млн лет	149 673	1,000501	1,00075159	365,53088

Столь подробное объяснение расчёта периода обращения Земли вокруг Солнца для других эпох дано здесь исключительно для того, чтобы любой читатель, даже весьма далёкий от астрономии, мог в случае каких-то сомнений взять калькулятор и лично перепроверить эти расчёты.

После того, как получены значения периода обращения Земли вокруг Солнца для различных эпох T_{3t} , выраженные в современных земных сутках, нетрудно рассчитать для этих же эпох и продолжительность синодического (кажущегося) периода осевого вращения Солнца $t_{\text{Синод}t}$. Результаты этих расчётов приведены в Таблице Д-15. Любой читатель может перепроверить эти расчёты с помощью формулы:

$$\frac{1}{t_{\text{Синод}t}} = \frac{1}{t_c} - \frac{1}{T_{3t}}$$

где: $t_{\text{Синод}t}$ – синодический (кажущийся) период осевого вращения Солнца в эпоху t (в современных земных сутках);

t_c – сидерический (реальный) период осевого вращения Солнца (25,3800 современных земных суток);

T_{3t} – период орбитального обращения Земли вокруг Солнца в эпоху t (в современных земных сутках).

Таблица Д-15.

Модельные оценки изменения синодического (кажущегося) периода осевого вращения Солнца для земного наблюдателя с течением геологического времени

Время t	Период обращения Земли вокруг Солнца	Синоди- ческий период осевого вращения Солнца
	T_{3t}	$t_{\text{Синод}t}$
	(в современных солнечных сутках)	
[1]	[2]	[3]
500 млн лет назад	364,98190	27,2768
400 млн лет назад	365,03668	27,2765
300 млн лет назад	365,09146	27,2762
200 млн лет назад	365,14624	27,2758
100 млн лет назад	365,20157	27,2755
настоящее время	365,25636	27,2752

Время t	Период обращения Земли вокруг Солнца	Синоди- ческий период осевого вращения Солнца
	T_{3t}	$t_{\text{Синод}t}$
	(в современных солнечных сутках)	
[1]	[2]	[3]
через 100 млн лет	365,31115	27,2749
через 200 млн лет	365,36649	27,2746
через 300 млн лет	365,42128	27,2743
через 400 млн лет	365,47608	27,2740
через 500 млн лет	365,53088	27,2737

Сидерический (реальный) период осевого вращения Солнца t_c принимается в расчётах постоянным, хотя вполне возможно (и даже, весьма вероятно), что этот период испытывает некоторое систематическое однонаправленное изменение

(увеличение или уменьшение). С одной стороны, Солнце должно в какой-то мере замедлять своё осевое вращение из-за приливных взаимодействий со своими планетами. С другой стороны, Солнце должно в какой-то мере ускорять своё вращение из-за перераспределения масс, происходящего в его недрах в ходе термоядерного «выгорания» водорода и накопления гелия в солнечном ядре. Эти противоположные тенденции по крайней мере частично компенсируют друг друга, и не исключено, что скорость осевого вращения Солнца на протяжении длительного времени остаётся почти постоянной. В любом случае, в периоды спокойной эволюции Солнца изменения скорости его вращения если и происходят, то весьма медленно, поэтому в рамках наших задач сидерический период осевого вращения Солнца t_c принимается постоянным и равным 25,3800 современных суток.

Дополнение 22. Расчёт модельных значений среднего расстояния от Земли до Луны и периода обращения Луны вокруг Земли для различных моментов геологического времени

Если экстраполировать современную скорость систематического удаления Луны от Земли (3,8 см/год = 38 км/млн лет) на длительные интервалы геологического времени, то модельное среднее расстояние от Земли до Луны $L_{3L\text{сред}t}$, выраженное в тысячах километров, рассчитывается для любого момента времени t по формуле:

$$L_{3L\text{сред}t} = L_{3L\text{сред}0} + 0,038 \times t,$$

где: $L_{3L\text{сред}0}$ – среднее расстояние от Земли до Луны в настоящую эпоху (384,4 тыс. км);
 t – время в миллионах лет (со знаком «+» для будущего и со знаком «-» для прошлого).

Полученные для различных моментов времени в прошлом и будущем модельные значения среднего расстояния от Земли до Луны $L_{3L\text{сред}t}$, выраженные в тысячах километров, приведены во второй колонке Таблицы Д-16. Эти же значения, но выраженные в современных средних расстояниях от Земли до Луны $L_{3L\text{сред}0}$, приведены в третьей колонке (иными словами, в третьей колонке приведены значения отношения $L_{3L\text{сред}t} / L_{3L\text{сред}0}$).

Зная, как с течением времени увеличивается среднее расстояние от Земли до Луны $L_{3L\text{сред}t}$, можно с помощью третьего закона Кеплера оценить и увеличение периода обращения Луны вокруг Земли $T_{Лл}$ (сидерического лунного месяца). Третий закон Кеплера первоначально был выведен для планет, обращающихся вокруг Солнца, но очень быстро выяснилось, что он справедлив и для любой системы спутников, обращающихся вокруг одного и того же центрального тела. Таким образом, согласно третьему закону Кеплера квадраты периодов обращения спутников вокруг одной и той же планеты относятся как кубы их средних расстояний до неё.

Таблица Д-16.

Модельные оценки изменения среднего расстояния от Земли до Луны и периода обращения Луны вокруг Земли с течением геологического времени

Время t	Среднее расстояние от Земли до Луны		Период обращения Луны вокруг Земли	
	в тыс. км	в современных средних расстояниях от Земли до Луны	в современных сидерических лунных месяцах	в современных сутках
	$L_{ЗЛсредt}$	$\frac{L_{ЗЛсредt}}{L_{ЗЛсред0}}$	$\frac{T_{Лt}}{T_{Л0}}$	$T_{Лt}$
		[2] : 384,4	$\sqrt{[3]^3}$	[4] × 27,321661
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
500 млн лет назад	365,4	0,950572	0,92678186	25,321220
400 млн лет назад	369,2	0,960458	0,94127726	25,717258
300 млн лет назад	373,0	0,970343	0,95584598	26,115300
200 млн лет назад	376,8	0,980229	0,97049057	26,515414
100 млн лет назад	380,6	0,990114	0,98520771	26,917511
настоящее время	384,4	1,000000	1,00000000	27,321661
через 100 млн лет	388,2	1,009886	1,01486559	27,727814
через 200 млн лет	392,0	1,019771	1,02980261	28,135918
через 300 млн лет	395,8	1,029657	1,04481372	28,546046
через 400 млн лет	399,6	1,039542	1,05989553	28,958106
через 500 млн лет	403,4	1,049428	1,07505076	29,372172

В настоящее время среднее расстояние от Земли до Луны $L_{ЗЛсред0}$ составляет 384,4 тыс. км, а период обращения Луны вокруг Земли $T_{Л0}$ равен 27,321661 суток. В любой другой момент времени t Луна может условно рассматриваться как ещё один спутник, обращающийся вокруг Земли на среднем расстоянии $L_{ЗЛсредt}$ с периодом обращения вокруг Земли $T_{Лt}$, для которого также будет выполняться третий закон Кеплера:

$$\frac{L_{ЗЛсредt}^3}{L_{ЗЛсред0}^3} = \frac{T_{Лt}^2}{T_{Л0}^2}$$

Очевидно, что если отношение ($L_{ЗЛсредt}/L_{ЗЛсред0}$), значения которого приведены в третьей колонке Таблицы Д-16, возвести в куб, а из полученного числа извлечь квадратный корень, то получим отношение ($T_{Лt}/T_{Л0}$), значения которого приведены в четвёртой колонке. Отношение ($T_{Лt}/T_{Л0}$) – это продолжительность сидерического лунного месяца для момента геологического времени t , выраженная в современных сидерических лунных месяцах. Остаётся умножить значение отношения ($T_{Лt}/T_{Л0}$) на 27,321661. В результате получим продолжительность сидерического лунного месяца для момента геологического времени t , выраженную в современных земных сутках, которая приведена в пятой колонке Таблицы Д-16.

Дополнение 23. Расчёт модельных значений продолжительности солнечных и звёздных суток для различных моментов геологического времени

Как уже было отмечено в Дополнении 4, темп систематического увеличения продолжительности солнечных суток в долгосрочном плане (за последние 27 веков) оценивается равным 1,7 миллисекунды за 100 лет. Если экстраполировать эту величину на длительные интервалы геологического времени, то это будет означать, что темп систематического увеличения продолжительности солнечных суток составляет 17 секунд за миллион лет (0,0001967593 современных солнечных суток за миллион лет). В таком случае, для любого момента времени t можно рассчитать модельную продолжительность солнечных суток t_{3cont} с помощью формулы:

$$t_{3cont} = t_{3сол0} + 0,0001967593 \times t,$$

где: $t_{3сол0}$ – современные солнечные сутки (1,00000000 суток);

t – время в миллионах лет (со знаком «+» для будущего и со знаком «-» для прошлого).

Полученные для различных моментов времени в прошлом и будущем модельные значения продолжительности солнечных суток Земли t_{3cont} , выраженные в современных солнечных сутках, приведены во второй колонке Таблицы Д-17. Для наглядности в третьей колонке эти же значения продолжительности солнечных суток для различных эпох даны в часах, минутах и секундах.

Таблица Д-17.

Модельные оценки изменения продолжительности солнечных суток
и их количества в течение года с течением геологического времени

Время t	Солнечные сутки эпохи t_{3cont}		Период обращения Земли вокруг Солнца (в современных сутках) T_{3t}	Количество солнечных суток эпохи в течение одного года [4] : [2] $\frac{T_{3t}}{t_{3солt}}$
	(в современных сутках)	(в часах, минутах, секундах)		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
500 млн лет назад	0,90162035	21 ч. 38 м. 20 с.	364,98190	404,80664
400 млн лет назад	0,92129628	22 ч. 06 м. 40 с.	365,03668	396,22072
300 млн лет назад	0,94097221	22 ч. 35 м. 00 с.	365,09146	387,99388
200 млн лет назад	0,96064814	23 ч. 03 м. 20 с.	365,14624	380,10404
100 млн лет назад	0,98032407	23 ч. 31 м. 40 с.	365,20157	372,53147
настоящее время	1,00000000	24 ч. 00 м. 00 с.	365,25636	365,25636

Продолжение Таблицы Д-17.

Время t	Солнечные сутки эпохи $t_{\text{солн}}$		Период обращения Земли вокруг Солнца (в современных сутках) T_{3t}	Количество солнечных суток эпохи в течение одного года [4] : [2] $\frac{T_{3t}}{t_{\text{солн}}}$
	(в современных сутках)	(в часах, минутах, секундах)		
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
через 100 млн лет	1,01967593	24 ч. 28 м. 20 с.	365,31115	358,26201
через 200 млн лет	1,03935186	24 ч. 56 м. 40 с.	365,36649	351,53301
через 300 млн лет	1,05902779	25 ч. 25 м. 00 с.	365,42128	345,05353
через 400 млн лет	1,07870372	25 ч. 53 м. 20 с.	365,47608	338,81044
через 500 млн лет	1,09837965	26 ч. 21 м. 40 с.	365,53088	332,79102

Получив для различных эпох модельную продолжительность солнечных суток $t_{\text{солн}}$ и взяв из Таблицы Д-14 (Дополнение 21) модельные значения периода обращения Земли вокруг Солнца T_{3t} для этих же эпох, рассчитаем для каждой эпохи количество солнечных суток в течение одного года соответствующей эпохи. Для этого надо просто разделить значения периода обращения Земли вокруг Солнца T_{3t} на продолжительность солнечных суток $t_{\text{солн}}$. Результаты этих несложных расчётов приведены в пятой колонке Таблицы Д-17.

Зная, как с течением геологического времени менялось количество солнечных суток в течение одного года и то как при этом менялась реальная продолжительность самого года T_{3t} , нетрудно рассчитать количество звёздных суток в течение одного года и их модельную продолжительность $t_{\text{звз}}$ для разных эпох. В любую эпоху количество звёздных суток в одном земном году должно быть, как и сейчас, ровно на одни сутки больше, чем количество солнечных суток. Поэтому все значения из пятой колонки Таблицы Д-17 (количество солнечных суток в течение одного года) надо просто увеличить на единицу и тем самым получить для разных эпох количество звёздных суток в течение одного года (указано во второй колонке Таблицы Д-18). После этого остаётся лишь для каждой эпохи разделить реальную продолжительность года T_{3t} , выраженную в современных солнечных сутках, на количество звёздных суток в течение одного года и тем самым получить продолжительность звёздных суток $t_{\text{звз}}$ для каждой эпохи, выраженную в современных солнечных сутках, которая приведена в четвёртой колонке Таблицы Д-18. В пятой колонке этой же таблицы те же самые значения продолжительности звёздных суток для различных эпох даны для наглядности в часах, минутах и секундах.

Модельные оценки изменения количества звёздных суток в году и их продолжительности с течением геологического времени

Время t	Количество звёздных суток эпохи в течение одного года $\frac{T_{3t}}{t_{3звт}} = \frac{T_{3t}}{t_{3сол}} + 1$	Период обращения Земли вокруг Солнца (в современных сутках) T_{3t}	Звёздные сутки эпохи $t_{3звт}$	
			(в современных сутках) [3] : [2]	(в часах, минутах, секундах)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
500 млн лет назад	405,80664	364,98190	0,89939854	21 ч. 35 м. 08 с.
400 млн лет назад	397,22072	365,03668	0,91897694	22 ч. 03 м. 20 с.
300 млн лет назад	388,99388	365,09146	0,93855322	22 ч. 31 м. 31 с.
200 млн лет назад	381,10404	365,14624	0,95812744	22 ч. 59 м. 42 с.
100 млн лет назад	373,53147	365,20157	0,97769960	23 ч. 27 м. 53 с.
настоящее время	366,25636	365,25636	0,99726967	23 ч. 56 м. 04 с.
через 100 млн лет	359,26201	365,31115	1,01683768	24 ч. 24 м. 15 с.
через 200 млн лет	352,53301	365,36649	1,03640363	24 ч. 52 м. 25 с.
через 300 млн лет	346,05353	365,42128	1,05596750	25 ч. 20 м. 36 с.
через 400 млн лет	339,81044	365,47608	1,07552929	25 ч. 48 м. 46 с.
через 500 млн лет	333,79102	365,53088	1,09508902	26 ч. 16 м. 56 с.

Зная модельную продолжительность солнечных суток для различных эпох $t_{3сол}$ (см. Таблицу Д-17) и взяв из Таблицы Д-16 в Дополнении 22 модельные значения периода обращения Луны вокруг Земли $T_{Лл}$ (продолжительности сидерического лунного месяца) для этих же эпох, мы можем рассчитать также и количество солнечных суток соответствующей эпохи в течение одного сидерического лунного месяца ($T_{Лл} / t_{3сол}$). Результаты этих расчётов приведены в четвёртой колонке Таблице Д-19.

Как видно из Таблицы Д-19, несмотря на то, что реальная продолжительность периода обращения Луны вокруг Земли $T_{Лл}$ с течением геологического времени увеличивается, количество солнечных суток соответствующей эпохи в течение одного сидерического месяца ($T_{Лл} / t_{3сол}$), наоборот, уменьшается. Так, за последние полмиллиарда лет реальная продолжительность сидерического лунного месяца $T_{Лл}$, выраженная в современных солнечных сутках, увеличилась на двое суток. А вот формальная условная продолжительность сидерического лунного месяца, выраженная в солнечных сутках своей эпохи ($T_{Лл} / t_{3сол}$), наоборот, уменьшилась примерно на три четверти суток. Это объясняется существенным ростом продолжительности самих солнечных суток $t_{3сол}$ с течением времени.

Модельные оценки изменения количества солнечных суток Земли
в сидерическом лунном месяце с течением геологического времени

Время	Период обращения Луны вокруг Земли – сидерический лунный месяц (в современных сутках)	Солнечные сутки эпохи (в современных сутках)	Количество солнечных суток эпохи в течение сидерического лунного месяца
t	$T_{Лл}$	$t_{Зсолл}$	$\frac{T_{Лл}}{t_{Зсолл}}$
[1]	[2]	[3]	[4]
500 млн лет назад	25,321220	0,90162035	28,084127
400 млн лет назад	25,717258	0,92129628	27,914210
300 млн лет назад	26,115300	0,94097221	27,753530
200 млн лет назад	26,515414	0,96064814	27,601588
100 млн лет назад	26,917511	0,98032407	27,457768
настоящее время	27,321661	1,00000000	27,321661
через 100 млн лет	27,727814	1,01967593	27,192771
через 200 млн лет	28,135918	1,03935186	27,070638
через 300 млн лет	28,546046	1,05902779	26,954955
через 400 млн лет	28,958106	1,07870372	26,845282
через 500 млн лет	29,372172	1,09837965	26,741366

Дополнение 24. К вопросу о выполнении второго базового совпадения на протяжении многих миллиардами лет

Как уже говорилось в Дополнении 21, если экстраполировать современную скорость удаления Земли от Солнца (15 см/год = 0,150 тыс. км/млн лет) на длительные интервалы геологического времени, то модельное среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{ЗСредt}$, выраженное в тысячах километров, можно рассчитать для любого момента времени t по формуле:

$$L_{ЗСредt} = L_{ЗСред0} + 0,150 \times t,$$

где: $L_{ЗСред0}$ – среднее расстояние от Земли до Солнца в настоящую эпоху (149 598 тыс. км);
 t – время в миллионах лет (со знаком «+» для будущего и со знаком «-» для прошлого).

Чисто формально можно рассчитать, и каким должно было быть в таком случае модельное расстояние от Земли до Солнца на момент образования Земли, то есть 4 540 млн лет назад:

$$L_{ЗСред(-4540)} = 149\,598 - 0,150 \times 4\,540 = 149\,598 - 681 = 148\,917 \text{ тыс. км.}$$

Отношение полученного расстояния к современному диаметру Солнца равно:

$$\frac{L_{3\text{Сред}(-4540)}}{D_{\text{Сред}}} = 148\,917 : 1\,391,4 = 107,027,$$

то есть, почти столько же сколько и в настоящее время:

$$\frac{L_{3\text{Сред}0}}{D_{\text{Сред}}} = 149\,598 : 1\,391,4 = 107,516.$$

Следуя этой чисто формальной логике, можно прийти к выводу, что второе базовое совпадение действовало с самого начала существования Земли, ведь модельная ошибка, с которой должно было бы в таком случае действовать это совпадение 4 540 млн лет назад, составляла всего лишь около 2%:

$$\frac{L_{3\text{Сред}(-4540)}}{D_{\text{Сред}}} : \frac{D_{\text{Сред}}}{D_{3\text{Сред}}} = 107,027 : 109,198 = 0,98012,$$

то есть, лишь немногим больше, чем в настоящее время (около 1,5%).

Чисто теоретически можно представить, что отношение среднего расстояния от Земли до Солнца к среднему диаметру Солнца ($L_{3\text{Сред}t} / D_{\text{Сред}}$) в очень далёком будущем дорастёт до 109,198 – то есть, до величины, равной постоянному отношению средних диаметров Солнца и Земли ($D_{\text{Сред}} / D_{3\text{Сред}}$). Иными словами, ошибка выполнения второго базового совпадения будет равна нулю, то есть, совпадение будет тогда идеальным. Среднее расстояние от Земли до Солнца $L_{3\text{Сред}t}$ должно быть при этом равным:

$$L_{3\text{Сред}t} = D_{\text{Сред}} \times 109,198 = 1\,391,4 \times 109,198 = 151\,938 \text{ тыс. км},$$

то есть, на 2 340 тыс. км больше, чем в настоящее время ($L_{3\text{Сред}0} = 149\,598$ тыс. км):

$$L_{3\text{Сред}t} - L_{3\text{Сред}0} = 151\,938 - 149\,598 = 2\,340 \text{ тыс. км}.$$

Если среднее расстояние от Земли до Солнца будет продолжать увеличиваться в том же темпе, что и сейчас, то есть, на 0,150 тыс. км за миллион лет, то чтобы увеличиться ещё на 2 340 тыс. км, потребуется:

$$2\,340 : 0,150 = 15\,600 \text{ млн лет},$$

то есть более 15 миллиардов лет! К этому времени Солнце уже давно закончит нормальную стадию своего развития на главной последовательности и превратится в белого карлика, испытав до этого сильное расширение с превращением в красного гиганта и возможно даже поглотив при этом нашу планету. Впрочем, вопросы эволюции Солнца как в прошлом, так и в будущем выходят далеко за рамки задач этой книги.

Разумеется, вышеприведённые расчёты – это лишь чистая абстракция и своего рода арифметическая игра. Мы не знаем (во всяком случае пока), как менялось расстояние от Земли до Солнца миллиарды лет назад, и как оно будет меняться через миллиарды лет в будущем. Мы не знаем достоверно, какими были размеры Солнца на самых ранних этапах истории Солнечной системы и какими они будут на завершающих стадиях её развития. Но результаты вышеприведённых расчётов (пускай, даже совершенно формальные) действительно весьма любопытны, ведь они дают возможность эмоционально почувствовать, что второе базовое совпадение «действовало» на протяжении большей части, а может быть, и вообще, на протяжении всей прошедшей геологической истории, и что оно ещё будет продолжать «действовать» на протяжении неопределённо долгого времени в будущем.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Пять удивительных совпадений (<i>постановка проблемы</i>)	4
Глава II. Два диска почти равны (<i>первое базовое совпадение</i>)	12
Глава III. Моменты идеальной точности (<i>первое базовое совпадение</i>)	21
Глава IV. Другие спутники не подходят (<i>первое базовое совпадение</i>)	27
Глава V. Измеряя космос солнечным диаметром (<i>второе базовое совпадение</i>) ..	33
Глава VI. Самый «солнечный» месяц (<i>третье базовое совпадение</i>)	40
Глава VII. «Красивое» и «интересное» число 100 (<i>четвёртое базовое совпадение</i>)	44
Глава VIII. И снова это же число 100... (<i>пятое базовое совпадение</i>)	49
Глава IX. Сверим часы (<i>постановка второй проблемы</i>)	54
Глава X. Вечные истины (<i>первое и второе базовые совпадения</i>)	62
Глава XI. Как мимолётное виденье (<i>третье, четвёртое и пятое базовые совпадения</i>)	68
Глава XII. Есть только миг между прошлым и будущим (<i>подведение итогов</i>) ...	75
Дополнения	82
Дополнение 1. Сидерический, синодический и аномалистический лунные месяцы .	82
Дополнение 2. Сидерический и синодический периоды осевого вращения Солнца, особенности вращения Солнца вокруг своей оси	84
Дополнение 3. О количестве оборотов Земли вокруг оси в течение одного года и причинах различия между звёздными и солнечными сутками	87
Дополнение 4. Приливные взаимодействия между планетами и их спутниками	88
Дополнение 5. Особенности формы планетоподобных спутников и параметры минимальных сечений планетоподобных спутников, наиболее заметно отличающихся по своей форме от шара	92
Дополнение 6. Изменение углового диаметра лунного диска в зависимости от высоты Луны над горизонтом и положения наблюдателя на земной поверхности	95
Дополнение 7. Угловые диаметры Солнца и планетоподобных спутников при наблюдении с других планет	99
Дополнение 8. Размеры спутников, имеющих обломочную форму	106
Дополнение 9. Обломочные спутники, которые при наблюдении со своих планет бывают равны или близки по угловым размерам солнечному диску	107
Дополнение 10. Колебания эксцентриситета земной орбиты и связанные с этим колебания минимального и максимального расстояния от Земли до Солнца в течение года	112
Дополнение 11. Форма и размеры Земли и других планет Солнечной системы	113
Дополнение 12. Орбиты планет Солнечной системы	116
Дополнение 13. К вопросу о наибольших и наименьших периодах обращения спутников вокруг своих планет	118
Дополнение 14. Периоды обращения Земли и других планет вокруг Солнца	120
Дополнение 15. Осевое вращение планет и продолжительность «года» планет, выраженная в звёздных «сутках» этих планет	121
Дополнение 16. Соотношения средних диаметров планет и их планетоподобных спутников	124

Дополнение 17. Продолжительность солнечных «суток» на планетах	126
Дополнение 18. Периоды орбитального обращения планетоподобных спутников, выраженные в солнечных «сутках» своих планет	127
Дополнение 19. К вопросу о возможных изменениях размеров Солнца, Земли и Луны	128
Дополнение 20. К вопросу о возможных изменениях массы Солнца, Земли и Луны	130
Дополнение 21. Расчёт модельных значений среднего расстояния от Земли до Солнца и связанных с ним параметров для различных моментов геологического времени	132
Дополнение 22. Расчёт модельных значений среднего расстояния от Земли до Луны и периода обращения Луны вокруг Земли для различных моментов геологического времени	135
Дополнение 23. Расчёт модельных значений продолжительности солнечных и звёздных суток для различных моментов геологического времени .	137
Дополнение 24. К вопросу о выполнении второго базового совпадения на протяжении интервалов времени, измеряемых миллиардами лет ...	140

Источники в Интернете

1) Официальный сайт НАСА (*дата обращения – 7 мая 2020 года*):

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/mercuryfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/venusfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/jupiterfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/saturnfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/uranusfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/neptunefact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/plutofact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/joviansatfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/saturniansatfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/uraniansatfact.html>
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/neptuniansatfact.html>

2) E. Myles Standish and James G. Williams, 2010. CHAPTER 8: Orbital Ephemerides of the Sun, Moon, and Planets

<https://www.webcitation.org/6BOqmsTQG?url=http://iau-comm4.jpl.nasa.gov/XSChap8.pdf>

3) Resolution B3 on recommended nominal conversion constants for selected solar and planetary properties, 2015. The XXIXth International Astronomical Union General Assembly

https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2015_English.pdf

М.Б. Сергеев

Система Солнце-Земля-Луна: ЧИСЛЕННЫЕ ПАРАДОКСЫ

Подписано в печать 30.10.23

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Формат 60х90/16

Усл. печ.л . 9

Гарнитура Times New Roman

Тираж 300 экз. Заказ № 301023/01

Издательство «СИНЭЛ»

Отпечатано в типографии «СИНЭЛ»

194223, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, д. 10