

КАК ДРЕВНИЕ ГРЕКИ ОПЕРЕДИЛИ КОПЕРНИКА

Окончание. Начало в № 3, 2021

ШАГ 2. ВО СКОЛЬКО РАЗ СОЛНЦЕ БОЛЬШЕ ЛУНЫ?

Чтобы ответить на этот вопрос, мы наблюдаем солнечное затмение – оно происходит, когда Луна загоразживает Солнце. При *частичном* затмении Луна лишь проходит по диску Солнца, не закрывая его полностью. Порой такое затмение даже нельзя разглядеть невооружённым глазом, Солнце светит как в обычный день. Лишь сквозь сильное затемнение, например через закопчённое стекло, видно, что часть солнечного диска закрыта чёрным кругом.

Гораздо реже происходит полное затмение, когда Луна на несколько минут полностью закрывает солнечный диск (рис 4). В это время становится темно, на небе появляются звёзды. Затмения наводили ужас на древних людей, считались предвестниками несчастий. Солнечное затмение наблюдается

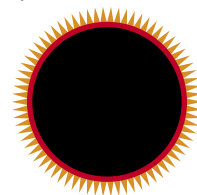


Рис. 4. Полное солнечное затмение

по-разному в разных частях Земли. В одном и том же месте полное затмение происходит крайне редко – в среднем раз в 200–300 лет. Аристарху повезло – он смог наблюдать его собственными глазами. На безоблачном небе Солнце постепенно начало тускнеть и уменьшаться в размерах, установились сумерки. На несколько мгновений Солнце исчезло. Потом проглянул первый луч света, солнечный диск стал расти, и вскоре Солнце засветило в полную силу.

Почему затмение длится столь короткое время? Потому что Луна имеет те же видимые размеры на небе, что и Солнце³. Что это значит? Нарисуем чертёж. Два круга – Солнце и Луна, Z – точка, из которой мы наблюдаем затмение. Так как во время затмения нам кажется, что круги совместились, то совместятся и их центры. Это значит, что центры Луны и Солнца – точки L и S – лежат на одной

³ Равенство видимых размеров Луны и Солнца – счастливое совпадение. Оно не вытекает из законов физики. У многих планет Солнечной системы есть спутники: у Марса их два, у Юпитера – четыре крупных (и ещё несколько десятков мелких), и все они имеют разные видимые размеры, не совпадающие с размером солнечного диска.



прямой с точкой Z (рис. 5). А так как совместились не только центры, но и края кругов, то крайние точки (обозначим их A и B) тоже лежат на одной прямой с точкой Z . Снова получаем два подобных треугольника: ZAL и ZBS . Сторона ZS большого треугольника в 400 раз больше стороны ZL маленького треугольника (потому что это – расстояния до Солнца и Луны!). Значит, и сторона BS большого треугольника в 400 раз больше стороны AL маленького. Но это ведь радиусы Солнца и Луны! Таким образом, по линейным размерам **Солнце в 400 раз больше Луны**. Второй шаг сделан.

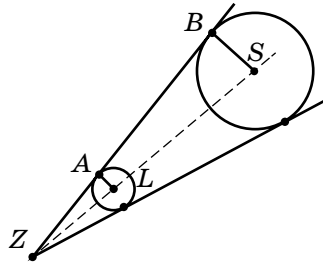


Рис. 5. Совпадение размеров Луны и Солнца при затмении

ШАГ 3. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СОЛНЦА И ЛУНЫ

Понаблюдав квадратуру Луны и солнечное затмение, мы доказали, что Солнце в 400 раз больше Луны и во столько же раз дальше от нас. А каковы же их реальные размеры? Из всех астрономических величин мы с вами пока знаем только радиус Земли. Поможет ли это? Хоть в каком-то из видимых явлений, происходящих на небе, появляется Земля? Не случайно говорят «небо и земля», имея в виду две несовместные вещи. И всё же такое явление есть. Это – *лунное затмение*.

При лунном затмении Луна уходит в тень от Земли. Спрятавшись за Землю, Луна лишается солнечного света и таким образом перестаёт светить. Она не исчезает из вида полностью, но темнеет, приобретая красноватый оттенок

Луна

Тень Земли



(через атмосферу лучше всего проходят красные и оранжевые лучи). На лунном диске при этом отчётливо видна тень от Земли (рис. 6). Круглая форма тени ещё раз подтверждает шарообразность Земли. Для того чтобы определить радиус круга земной тени (мы сделаем это по рисунку 6), достаточно решить простое упражнение:

Рис. 6. Лунное затмение





Упражнение 1. На плоскости дана дуга окружности. Постройте центр этой окружности и найдите её радиус.

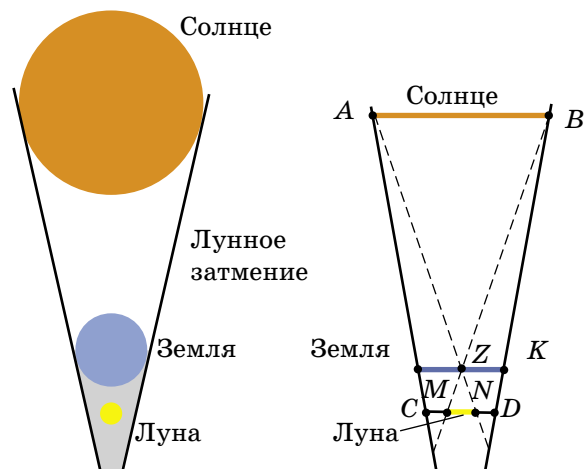


Рис. 7. Вычисление размеров Солнца и Луны

Мы получаем, что радиус земной тени примерно в $\frac{8}{3}$ раза больше радиуса Луны. Обратимся теперь к рисунку 7. Серым цветом закрашена область земной тени, в которую попадает Луна при затмении. Возьмём за единицу измерения диаметр Луны. Это отрезок MN на рисунке 7, он равен 1; CD – диаметр земной тени, он равен $\frac{8}{3}$. Значит, на отрезки CM и ND приходится $\frac{8}{3} - 1 = \frac{5}{3}$. Поэтому каждый из них равен $\frac{5}{3} : 2 = \frac{5}{6}$, а отрезок MD равен $1 + \frac{5}{6} = \frac{11}{6}$. Как мы знаем, расстояние от Земли до Солнца в 400 раз больше расстояния от Земли до Луны. Это значит, что $ZB = 400ZM$. Таким образом, точка B находится очень-очень далеко, а прямые MZ и BK почти параллельны. Поэтому отрезок ZK почти равен отрезку $MD = \frac{11}{6}$. Но ZK – радиус Земли. Получается, что он в $\frac{11}{6}$ раза больше диаметра Луны, а значит, в $\frac{11}{3} \approx 3,66$ раза больше радиуса Луны.

А как же Солнце? Оно больше Луны в 400 раз, а значит, больше Земли в $\frac{400}{3,66} \approx 109$ раз. Итак, по линейным размерам **Солнце больше Земли примерно в 109 раз, Земля больше Луны в 3,66 раза.** Так как радиус Земли мы знаем, сразу можем вычислить радиусы Луны и Солнца.

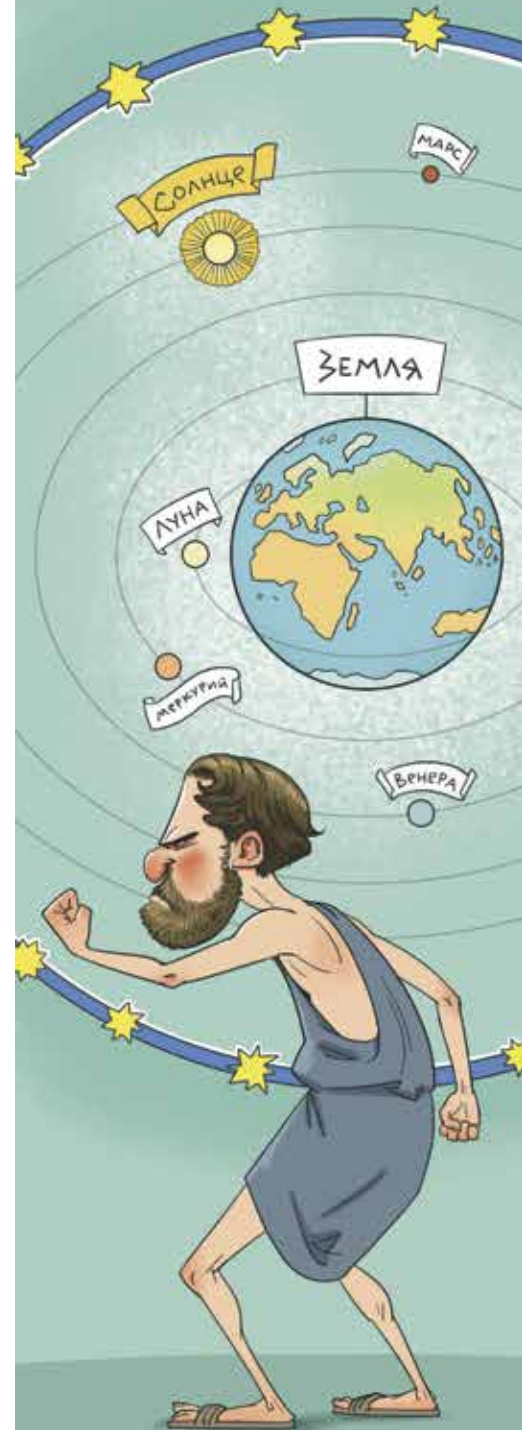
ЧТО ЖЕ В ЦЕНТРЕ – ЗЕМЛЯ ИЛИ СОЛНЦЕ?

В древности устройство нашей Вселенной представляли так: в центре – неподвижная Земля, вокруг неё по круговым орбитам вращаются 7 планет, включая Луну и Солнце (которое тоже считалось планетой). Завершается всё небесной сферой с прикрепленными к ней звёздами. Сфера вращается вокруг Земли, делая полный оборот за 24 часа. Это – *геоцентрическая* система мира, в центре которой – Земля («гео»).

Эту модель многократно подправляли. Так, стали считать, что небесная сфера неподвижна, а Земля вращается вокруг своей оси. Затем стали исправлять траектории движения планет: круги заменили циклоидами, то есть линиями, которые описывают точки окружности при её движении по другой окружности. Во II веке н. э. модель приняла окончательный вид в знаменитом трактате «Альмагест» Клавдия Птолемея (87–165), выдающегося греческого астронома, тезки египетских царей. Со временем некоторые циклоиды усложнялись, добавлялись всё новые окружности. Но в целом система Птолемея господствовала около полутора тысячелетий, до XVI века, до открытий Коперника.

Но если знать размеры Земли и Солнца, простая интуиция подскажет, что в центре должно находиться Солнце. Оно же больше Земли в 109 раз! Представим себе такую модель: Земля имеет размер теннисного мячика – около 6,5 см. Тогда Солнце будет иметь диаметр 7 метров! И почему же такая махина, размером с трёхэтажный дом, должна вращаться вокруг «теннисного мячика»? Может, всё наоборот?

Архимед пишет, что именно такой вывод сделал Аристарх, предложив *гелиоцентрическую* систему мира с Солнцем («гелиос») в центре. Она лучше объясняет видимое движение планет и лучше согласуется с результатами наблюдений. Да и другие учёные понимают, что новая модель проще и естественнее геоцентрической. Но тем не менее её никто не принял! Из всех астрономов античности только Селевк стал сторонником новой модели. Больше никто! Даже великий Архимед, почитавший Аристарха, не решился поставить Солнце в центр мира.



ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



СТРАХ ПЕРЕД БЕЗДНОЙ

Почему же 18 веков учёные не принимали простой и логичной системы мира, предложенной Аристархом? И это несмотря на то, что официально признанная геоцентрическая система Птолемея часто давала сбои, не согласуясь с результатами наблюдений за планетами и звёздами. Приходилось добавлять всё новые окружности (так называемые *вложенные циклы*) для «правильного» описания движения планет. Уже к XIII веку этих окружностей накопилось 75.

Модель стала столь громоздкой, что начали раздаваться осторожные возражения: неужели мир в самом деле устроен так сложно? Широко известен случай с Альфонсом X (1221–1284), королём Кастилии и Леона, государства, занимавшего часть современной Испании. Он как-то обмолвился, что «если бы при сотворении мира Господь оказал мне честь и спросил моего совета, многое было бы устроено проще».

Но сомнения остались. Часть из них можно было бы разрешить, поставив Солнце в центр Вселенной и приняв гелиоцентрическую систему Аристарха. Его труды были хорошо известны. Однако ещё много веков никто из учёных не решался это сделать. Причины были не только в страхе перед властями и официальной церковью и не только в инертности человеческого мышления (не так-то просто признать, что наша Земля – не центр мира, а лишь рядовая планета!). Всё-таки настоящему учёному ни страх, ни стереотипы – не препятствия на пути к истине. Гелиоцентрическая система отвергалась по вполне научным причинам. Если допустить, что Земля вращается вокруг Солнца, то её траектория – окружность с радиусом, равным расстоянию от Земли до Солнца. Это больше 150 миллионов километров. Значит, Земля в течение полугода перемещается на 300 миллионов километров. Гигантская величина! Но картина звёздного неба для земного наблюдателя при этом остаётся такой же. Земля то приближается, то удаляется от звёзд на 300 миллионов километров, но ни видимые расстояния между звёздами (например, форма созвездий), ни их яркость не меняются. Это означает, что расстояния до звёзд должны быть ещё в несколь-

ко тысяч раз больше. То есть небесная сфера должна иметь совершенно невообразимые размеры!

Вместо компактного и уютного мира, в центре которого находится Земля и который помещается внутри относительно небольшой небесной сферы, Аристарх нарисовал бездну. И эта бездна испугала всех.

Пройдёт ещё много веков, прежде чем человек сможет смириться с тем, что наш мир имеет столь огромные размеры, и примет гелиоцентрическую систему, предложенную Аристархом и обоснованную Коперником. Отсюда останется только один шаг до бесконечной Вселенной и учения Джордано Бруно о множестве миров. Но это уже другая история.

УПРАЖНЕНИЯ

2. Можно ли было во времена Эратосфена синхронизировать (сделать одновременно) два измерения на расстоянии 800 км друг от друга? Хотя бы с разницей не больше 10 минут? Предложите какой-нибудь способ.

3. Как вычислить радиус Земли по следующим данным: с горы высотой 500 м просматриваются окрестности на расстоянии 80 км?

4. Как вычислить радиус Земли по следующим данным: корабль высотой 20 м, отплыв от берега на 16 км, полностью исчезает из вида? (В реальном эксперименте этот корабль может быть виден и намного дальше из-за преломления света, см. kvan.tk/bedford)

5. Солнечное затмение может наблюдаться в одних частях Земли и не наблюдаться в других. А лунное?

6. Докажите, что солнечное затмение может наблюдаться только во время новолуния, а лунное затмение – только во время полнолуния.

7. Что происходит на Луне, когда на Земле происходит лунное затмение?

8. Аристарх вычислил и расстояния до Луны и Солнца. Предложите способ, как он мог это сделать.

9. Почему не каждое новолуние сопровождается солнечным затмением? Ведь если освещённая сторона Луны нам не видна, Солнце должно располагаться за Луной, то есть Луна загородит Солнце. И почему полнолуние не всегда сопровождается лунным затмением? Ведь если нам полностью видна освещённая сторона Луны, то мы (Земля) должны располагаться между Луной и Солнцем, и на Луне должна возникать земная тень.

Художник Мария Усеинова

