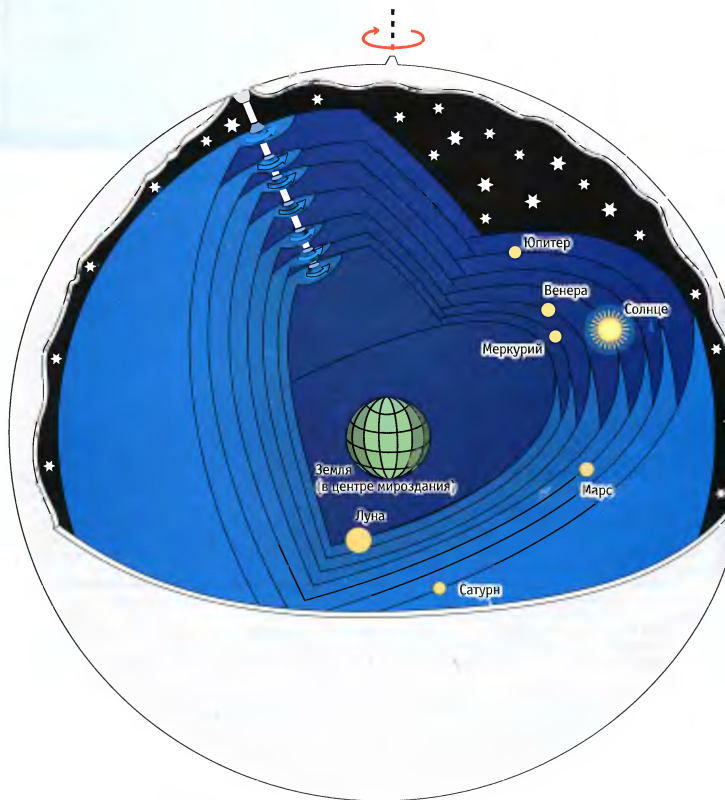


ГЛАВА 1

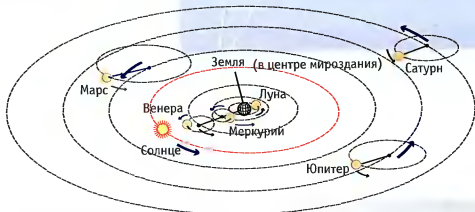
ОДИНОКАЯ ЗЕМЛЯ

*"Мы, возводя соборы космогоний,
Не внешний в них отображаем мир,
А только грани нашего
незнанья.
Системы мира - слепки
древних душ."
М. Волошин*



Модель Пифагора (VI в. до н.э.)

Эта глава посвящена тому, как человечество пришло к правильному представлению о шарообразной форме и размерах Земли и о ее месте в мировом пространстве. Поиск ответов на эти фундаментальные вопросы сыграл огромную роль в истории человеческой мысли. Первая научно обоснованная картина устройства Вселенной была создана учеными Древней Греции. Несмотря на то, что она оказалась ошибочной, в процессе ее создания было рождено множество блестящих догадок и прекрасных идей, оказавших огромное влияние на последующее развитие науки. Античными учеными была доказана шарообразность Земли и с большой точностью установлены ее размеры, а также была сформулирована идея гелиоцентрического устройства мироздания, опередившая свое время более чем на полтора тысячелетия. К сожалению, достижения древнегреческих мыслителей, в основном, были утрачены в эпоху раннесредневекового варварства и религиозного догматизма. Понадобились многие века, чтобы европейские ученые вновь поднялись до уровня знаний и представлений античных мыслителей. И только в XVI-XVII столетиях был сделан качественно новый шаг вперед: Земля в умах людей перестала одиноко покоиться в центре Вселенной, а заняла свое истинное место небольшой планеты, обращающейся вокруг одной из огромнейшего числа звезд, рассыпанных в бесконечных просторах Космоса.



Модель Птолемея (II в. н.э.)



Модель Браге (XVI в.)



Модель Коперника (XVI в.)

"Когда там наверху небо еще не было названо
И земля внизу также оставалась безымянной..."
(из древнеавилонской поэмы "Энума Элиш")

В САМОМ НАЧАЛЕ...

Людям, по всей вероятности, всегда было свойственно думать о том, как устроен мир – об этом свидетельствуют многочисленные мифы и легенды, дошедшие до нас из глубины тысячелетий. Конечно, по современным понятиям они кажутся очень наивными, но не будем забывать, что это были первые попытки создать целостную картину мира, понять, что представляет собой наша Земля и какое место в окружающем пространстве она занимает. **При всем разнообразии и внешней несхожести представлений древних племен и народов об устройстве мироздания в них просматриваются некоторые общие черты. Как правило, считалось:**

- Земля имеет плоскую форму;
- Земля покоится на некоей опоре;
- Земля расположена в центре огромной вращающейся сферы, несущей на себе звезды и другие небесные светила.

Хотя все три утверждения являлись ошибочными, нельзя не признать, что они вытекали из повседневного опыта наших далеких предков и были абсолютно логичными.

То, что Земля – плоская, не вызывало никаких сомнений. Думать иначе было просто абсурдом, и поэтому много тысячелетий назад, когда складывались первые мифические представления об устройстве мира, людей больше занимал вопрос о том, какие очертания имеет земная плоскость и каковы ее размеры, а также, что именно находится за ее краем. Вавилоняне представляли Землю в виде огромного круглого острова, окруженного со всех сторон океаном. Египтяне также считали, что Земля – это гигантский остров, но при этом думали, что он имеет форму прямоугольника. Полагали и, что Земля не омывается со всех сторон водой, а представляет собой своего рода "платформу", края которой обрываются в бездну.

Создателям древних мифов приходилось искать ответ и на вопрос о том, что находится "ниже" Земли. Поскольку никому никогда не удавалось достичь несуществующего "края" Земли и заглянуть за него – все представления о том, что находится "ниже" были абсолютно фантастическими. Из опыта люди знали, что ни один реальный предмет не может висеть в пространстве "просто так", и поэтому казалось, что у Земли должна быть какая-нибудь опора. Чаще всего считали, что Земля поддерживается снизу какими-то исполинскими животными, но при этом неизбежно возникал вопрос, на чем же стоят они сами? Приходилось придумывать еще одну опору: например, в древнеиндийских мифах слоны, державшие на своих спинах Землю, сами стояли на огромной черепахе. Но каждой новой опоре нужна своя опора... Проблему не решало и предположение, что сама Земля или поддерживающие ее существа плавают в воде – ведь вода тоже должна как-то удерживаться в пространстве. Оставалось признать, что самая последняя опора уже не нуждается ни в какой поддержке, каким-то сверхъестественным образом находя ее в самой себе.

Зато представления древних о том, что находится "выше" Земли опирались на непосредственные наблюдения, ибо бескрайнее небо, раскинувшееся над Землей, было полностью открыто человеческому взгляду.

..Люди всеми их глазами –
В небе видеть лишь могли
С дном усыпанным звездами,
Чашу, ставшую краями
Над тарелкою Земли.

(В. Бенедиктов)

В светлое время суток небо выглядело как огромный голубой купол, освещенный солнцем, а ночью оно казалось гигантской вращающейся черной сферой, поверхность которой была усыпана мерцающими звездами. В каждый конкретный момент можно было видеть только одну половину этой сферы, но вполне логичным являлось предположение, что существует и другая – ведь в течение ночи одни звезды исчезали за горизонтом, в то время как на противоположной стороне неба всходили новые. Какой размер имеет звездная сфера оставалось загадкой, но зато не было никаких сомнений в том, какое место в мироздании занимает Земля – единственно возможным местом для Земли в такой Вселенной был ее центр.

ДВА ВОЗМОЖНЫХ ОБЪЯСНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД ПО НЕБСВОДУ
 (а - воображаемое вращение звездной сферы вокруг оси Мира;
 б - реальное вращение Земли вокруг своей оси)

Сейчас вращение Земли вокруг своей оси ни у кого не вызывает сомнения, однако, этот факт далеко не так очевиден, как может показаться на первый взгляд. В течение многих тысячелетий мало кто сомневался в том, что Земля неподвижна, в то время как вращение звездного неба, казалось бы, наблюдалось непосредственно. При этом люди видели, что звездное небо вращается как единое целое, ведь звезды в своем еженочном пути по небу не меняют расположения друг относительно друга так, словно они на чем-то закреплены. Кроме того, хотя звезды имеют разную яркость, они кажутся равноудаленными - ведь расстояния до них столь велики, что глаза человека, будучи прекрасным дальномером в обычной жизни, не в состоянии определить, какие звезды находятся ближе, а какие дальше. Все это привело к возникновению представления об огромной небесной сфере, несущей на себе звезды и ограничивающей наш мир.

Понятие "небесная сфера" сохранилось и в современной науке, правда при этом подразумевается не реально существующий физический объект, а воображаемая сферическая поверхность произвольного радиуса, на которую спроецированы небесные светила. С небесной сферой связан и ряд других абстрактных понятий. Условно считается, что эта воображаемая сфера вращается вокруг так называемой "оси Мира", являющейся продолжением оси вращения Земли в мировом пространстве. Использование такого условного приема позволяет более наглядно представить характер видимого движения небесных светил. Точки пересечения оси Мира с небесной сферой называются "полюсами Мира", а линия пересечения плоскости земного экватора с небесной сферой называется "небесным экватором".

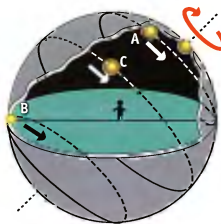
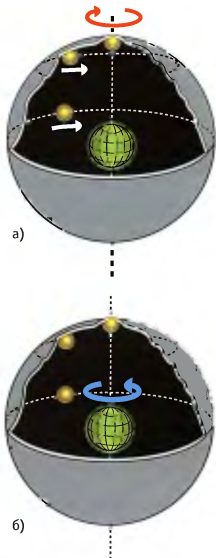
Каждая звезда имеет на воображаемой небесной сфере фиксированное положение и совершает свой путь на земном небе по окружности параллельной небесному экватору. Чем ближе расположена звезда к какому-либо из полюсов Мира, тем меньше радиус окружности ее видимого пути, а сами точки полюсов Мира остаются на небосводе неподвижными. В непосредственной близости от северного полюса Мира находится яркая звезда, получившая название Полярной. В течении суток она практически не меняет своего положения, во всяком случае ее круговое движение невозможно заметить без использования астрономических приборов.

Нетрудно представить, что если наблюдатель окажется на Северном полюсе, то он будет видеть Полярную звезду в зените, т.е. вертикально над собой. Если же наблюдатель попадет на экватор, то он будет видеть ее в северной точке горизонта. На всех других широтах Полярная звезда будет видна в направлении строго на север, неподвижно висевшей над горизонтом на угловой высоте равной широте местонахождения наблюдателя.

ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ЗВЕЗД ПО НЕБСВОДУ (с точки зрения наблюдателя, находящегося в умеренных широтах северного полушария)

Все звезды (кроме неподвижной Полярной) совершают видимые движения на небосводе по наклонным окружностям. Как видно из рисунка, звезда А все время находится над горизонтом и лишь один раз касается его в самой нижней точке своего пути. Очевидно, что эта звезда и все звезды, расположенные на небесной сфере еще ближе к северному полюсу Мира, никогда не заходят, правда, невооруженным глазом их можно видеть только в темное время суток. Напротив, звезда В все время находится под горизонтом, касаясь его лишь один раз в самой верхней точке своего пути, поэтому, эта звезда и все звезды, расположенные еще ближе к южному полюсу Мира, никогда не восходят, т.е. никогда не бывают видны на данной географической широте. Звезды, находящиеся в промежуточной части небесной сферы, т.е. между звездами А и В, дважды в течении суток пересекают горизонт. При этом более "северные" звезды дольше находятся над горизонтом, а более "южные" - под горизонтом. Звезда С, расположенная на небесном экваторе, находится над горизонтом и под ним равное время.

С современной точки зрения такая схема является лишь удобной абстракцией, позволяющей более легко представить движение звезд по небосводу. Но для наших далеких предков она послужила бы вполне наглядной, хотя и лишённой мифологических подробностей, иллюстрацией их представления о реальном устройстве мироздания, в центре которого находится плоская Земля, накрытая сверху огромным вращающимся вокруг наклонной оси небесным куполом.



*"Отторжен от тебя безмолвием столетий
Сегодня о тебе мечтаю я, мой друг!
Я вижу ночь и холм, назову степь вокруг,
Торжественную ночь при тихом звездном свете.*

*Ты жадно смотришь вдаль; ты с вышины холма
За звездами следишь, их узнаешь и числишь,
Предвидишь их круги, склонения... Ты мыслишь,
И таинства миров яснеют для ума"
В. Брюсов*

Совершенно особое место в древних мифах, повествующих об устройстве мироздания, отводилось Солнцу и Луне – самым ярким светилам земного неба. Еще в глубокой древности было замечено, что Солнце и Луна перемещаются на фоне звезд, остающихся неподвижными. Движение Луны на фоне звездного неба настолько очевидно, что внимательный наблюдатель может легко заметить его даже в течение одной ночи. Перемещение Солнца относительно звезд обнаружить труднее: ослепительное солнечное сияние "засвечивает" небо, и невозможно одновременно наблюдать на нем и Солнце, и звезды. Однако, в течение года от сезона к сезону вид звездного неба по ночам меняется – из этого следует, что "засвеченными" в светлое время суток оказываются его разные части, а значит Солнце перемещается на фоне созвездий.

Извечный покой и порядок звездного мира нарушали также и пять ярких звезд, на первый взгляд мало отличавшихся от всех остальных, но перемещавшихся на их фоне. Со временем эти странствующие по небу звезды были названы "планетами", что в переводе с греческого означает "блуждающие". Их безвестные первооткрыватели не могли и предполагать, что в особенностях движения этих необычных светил на земном небе кроется ключ к пониманию устройства мироздания и того, какое место занимает в нем Земля. Но до этого еще было очень далеко, должна была родиться и стать на ноги одна из древнейших наук – астрономия...

Первый шаг на пути к этому был сделан около 10 тысячелетий назад с наступлением эпохи земледелия. Для того, чтобы правильно организовать свой труд в течение года, люди должны были уметь сопоставлять вид звездного неба с периодическими сезонными явлениями: ежегодным разливом рек, сменой дождливых и засушливых периодов и т.д. Из ночи в ночь, из века в век, глядя на звездное небо над головой и опытным путем выверяя наилучшее время для возделывания поля, начала сева, перегона овец на дальние пастбища, люди устанавливали связь между явлениями небесными и явлениями сугубо земными. Иной возможностью для исчисления времени у них просто не было. **Нехитрые земледельческие правила, тысячелетиями выверявшиеся и из уст в уста передававшиеся поколениями земледельцев и пастухов, стали закладным камнем в фундаменте астрономической науки.**

Систематические наблюдения звездного неба впервые стали проводиться в Египте в III тысячелетии до н.э. Главной целью древнеегипетских астрономов было создание удобной системы исчисления времени, т.е. календаря. **Свой настоящий взлет наблюдательная астрономия пережила в Вавилоне**, где она стала бурно развиваться в начале III тысячелетия до н.э. На протяжении почти полутора тысяч лет Вавилону суждено было быть астрономической "столицей" древнего мира.

Вавилонские астрономы добились поразительных успехов. Они создали очень точный для той эпохи лунно-солнечный календарь и составили первый в мире звездный каталог. Веками они регистрировали затмения и производили тщательные наблюдения за положением на небе не только Солнца и Луны, но и планет. Они установили, что Солнце из года в год движется относительно звезд по одному и тому же наклонному кругу, который позднее был назван эклиптикой. Вавилонские астрономы выяснили, что пути Луны и особенно планет на звездном небе хотя и не совпадают с солнечным, но очень близки к нему, и ввели понятие зодиака – пояса созвездий, через которые в своем пути по небу проходят все семь "блуждающих" светил. Из Вавилона происходит деление суток на 24 часа, округности – на 360 градусов, зодиака – на 12 знаков.

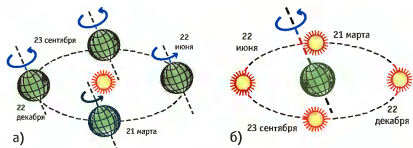
Все свои астрономические наблюдения вавилоняне записывали клинописью на глиняных дощечках, многие из которых дошли до наших дней. На основе огромного объема накопленных данных вавилонские астрономы создали весьма точную систему расчета положений Солнца, Луны и планет на земном небе на любой момент времени, научились предвычислять восходы и заходы небесных светил и предсказывать лунные и солнечные затмения.

Тем удивительнее кажутся эти достижения, если учесть, что у вавилонских астрономов не было никакой теоретической модели, которая бы показывала расположение небесных светил в мировом пространстве. Их система расчетов представляла собой лишь совокупность весьма сложных вычислительных правил, найденных путем скрупулезного подбора и сравнения с данными многовековых наблюдений. Эта система хорошо описывала как движутся светила на земном небе, но совершенно не за-

трагивала вопрос почему они так движутся. **Астрономия в Вавилоне еще не являлась подлинной наукой, когда познание, как таковое, становится самостоятельной ценностью. Она развивалась как составная часть астрологии** - религиозного учения, в котором светила считались небесным воплощением богов. Основная задача вавилонской астрономии сводилась к точному вычислению положения Солнца, Луны и планет относительно знаков зодиака, для того, чтобы на этой основе составлять астрологические предсказания. Настоящая наука о небесных светилах еще только пробуждалась.

ДВЕ ВОЗМОЖНЫЕ СХЕМЫ ВЗАИМОПОЛОЖЕНИЯ ЗЕМЛИ И СОЛНЦА В ТЕЧЕНИЕ ГОДА

(а - реальное орбитальное движение Земли вокруг Солнца;
б - воображаемое орбитальное движение Солнца вокруг Земли)



Направление оси вращения Земли в мировом пространстве во время ее движения по орбите остается постоянным, но взаимное положение земной оси и Солнца в течение года меняется. 22 июня северный конец земной оси максимально наклонен в сторону Солнца, а 22 декабря - максимально отклонен от него. Земля обращается вокруг Солнца в том же направлении, в котором она вращается вокруг своей оси - против часовой стрелки, если смотреть с северной части небесной сферы.

Земной наблюдатель ничего не заметит, если вращение Земли вокруг Солнца заменить вращением Солнца вокруг Земли, ведь взаимное положение двух тел в обеих схемах одинаково. Плоскость воображаемой орбиты Солнца совпадает в мировом пространстве с плоскостью реальной земной орбиты, при этом Солнце вращается вокруг Земли в ту же сторону, что и Земля вокруг своей оси.

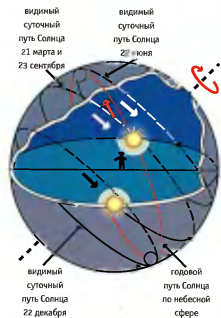
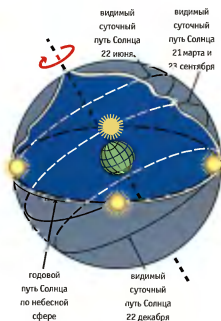
ГОДОВОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА ПО НЕБЕСНОЙ СФЕРЕ

Осевое вращение земного шара заменено на этой схеме (по сравнению со схемой б) противоположно направленным вращением небесной сферы. Годовой путь Солнца (эклиптика) представляет собой наклонную по отношению к оси Мира окружность, при этом ближе всего к северному полюсу Мира Солнце находится 22 июня, а ближе всего к южному полюсу Мира - 22 декабря. В течение года Солнце дважды (21 марта и 23 сентября) пересекает небесный экватор. Солнце движется по небесной сфере в сторону противоположную ее вращению, поэтому в своем суточном движении по небу оно немного отстает от звезд.

Пути Луны и планет на небесной сфере пролегают в непосредственной близости от линии эклиптики. Это связано с тем, что плоскости орбит планет, обращающихся вокруг Солнца, а также плоскость орбиты Луны, обращающейся вокруг Земли, близки к плоскости земной орбиты.

ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА ПО НЕБОСВОДУ (с точки зрения наблюдателя, находящегося в умеренных широтах северного полушария)

Каждые сутки Солнце описывает окружность на земном небе, но в отличие от звезд положение этой окружности в течение года не остается постоянным, а каждые сутки меняется в зависимости от положения Солнца на эклиптике. 22 июня, в день летнего солнцестояния, продолжительность светлого времени суток максимальная, а 22 декабря, в день зимнего солнцестояния - минимальная. При этом 22 июня в полдень Солнце поднимается над горизонтом выше, чем в любой другой день, а 22 декабря - ниже. 21 марта и 23 сентября, в дни весеннего и осеннего равноденствий, день и ночь имеют одинаковую продолжительность.



Прародиной современной европейской науки суждено было стать Древней Греции. Именно здесь примерно в VII-VI вв. до н.э. стали складываться те подходы к познанию окружающего мира, которые характерны для современного научного мировоззрения: здесь впервые перешли от эмпирических правил и постулируемых утверждений к строгим доказательствам и логически обоснованным теоретическим построениям. Основоложником древнегреческой науки по праву считается Фалес Милетский (около 625-547 гг. до н.э.), выдающийся философ, астроном, геометр и естествоиспытатель. Фалес первым выдвинул тезис о том, что устройство окружающего мира можно объяснить на основе обычных наблюдений и рассуждений, а причины явлений надо искать не в божественном промысле, а в самой природе. Сейчас это кажется очевидным, но в те далекие времена такой взгляд на мир был принципиально новым, ведь в представлении современников Фалеса все, что происходило в окружающем мире, было следствием воли, привычек или просто капризов многочисленных богов и божеств.

Хотя сам Фалес еще считал Землю большим плоским островом, плавающим в воде, но уже его ученики - представители основанной им в Милете философской школы, начали отказываться от уходящих в глубочайшую древность догм как о плоской форме Земли, так и о наличии у нее опоры. Один из учеников Фалеса - Анаксимандр (около 610-546 гг. до н.э.) полагал, что Земля "подобна отрезку каменной колонны", т.е. имеет форму цилиндра, и высказал предположение о том, что Земля никем и ничем не поддерживается, а самостоятельно покоится в мировом пространстве без всякой опоры. Действительно, если приходилось признавать, что последняя из опор все равно каким-то образом "висит", ни на что не опираясь, то проще было вообще отказаться от каких-либо опор. Философам милетской школы принадлежат и множество других очень интересных идей, например, о том, что небесные тела состоят из той же материи, что и Земля, о расченности Солнца, о множественности обитаемых миров, о вечности и постоянной изменчивости Вселенной. Однако, эти чисто умозрительные представления не составляли какой-то целостной картины, а являлись лишь отдельными блестящими догадками.

Подлинный переворот в представлениях людей о Земле и Вселенной связан с именем Пифагора (около 570-500 гг. до н.э.) - одного из самых выдающихся мыслителей в истории человечества. Философ и математик, политический деятель и проповедник собственного "пифагорейского" религиозно-этического учения - он был воистину властителем дум своих современников. Ему же принадлежит и первая "проба сил" в теоретической космологии - **Пифагор создал первую научно обоснованную модель строения Вселенной.**

Пифагор представлял Вселенную как ряд вложенных друг в друга концентрических сфер, вращающихся вокруг Земли и несущих на себе небесные светила. Самая дальняя сфера несла "неподвижные" звезды, по отдельной сфере предназначалось для пяти известных тогда планет, еще одна - для Солнца, а самой ближней к Земле была сфера, несущая Луну, ведь из наблюдений было известно, что Луна может покрывать собой на земном небе и звезды, и планеты, а во время затмений - и Солнце. Всего, таким образом, получалось восемь сфер. Сферы были прозрачными (позднее их стали считать хрустальными), они равномерно вращались с близкими, но немного разными скоростями, чем и объяснялось перемещение Солнца, Луны и планет на фоне звезд и друг относительно друга. В самом центре Вселенной, ни на что не опираясь, неподвижно покоился земной шар - **Пифагор был первым, кто пришел к выводу, что Земля имеет сферическую форму.**

В отличие от всего земного, несовершенного и тленного, небесный мир казался Пифагору прекрасным и вечным, а это явно указывало на его совершенную, идеальную природу. А кроме того, круглая форма солнечного и лунного дисков, круговые и равномерные движения светил на небе, закономерное чередование дня и ночи, сезонов года - все это наводило на мысль, что в основе устройства Вселенной лежит единый принцип: принцип гармонии и совершенства Космоса, выражающийся, в частности, в круговых формах и движениях, цикличности и равномерности. Поэтому, "конструируя" свою Вселенную, Пифагор положил в основу ее структуры наиболее совершенную форму - сферу. Совершенным должно было быть и само движение небесных тел - в его модели они двигались равномерно по идеальным окружностям. Само слово "космос", буквально означающее стройный порядок, прекрасное устройство (в отличие от "хаоса") было употреблено в его современном значении именно Пифагором.

Гармонию Пифагор считал божественной и понимал как определенные численные соотношения. Поисками ее законов великий грек занимался всю свою жизнь. Ярким воплощением гармонии являлась музыка, и Пифагору удалось установить, что музыкальные аккорды звучат мелодично в тех случаях, когда длины струн находятся в простых числовых соотношениях, например, 1:2, 2:3 и т.д. В других случаях, когда отношение длин струн не выражается простой дробью, аккорды звучат диссонансно. Итак, гармонию можно описать математически! "Все есть число" - кредо философии Пифагора. Если снять с этого тезиса мистический покров, то открывается гениальное пророчество, определившее весь последующий путь развития науки: математика есть ключ к познанию всех тайн Природы.

Пифагор пришел к своему пониманию устройства мироздания от музыки - его Вселенная была по

суги гигантским музыкальным инструментом, рожденным воображением великого мыслителя. Он считал, что вращение каждой из восьми небесных сфер, должно сопровождаться звучанием, тональность которого зависит от ее размера, а все вместе они создают прекрасную и величественную мировую гармонию - музыку небесных сфер. Услышать ее дано немногим - ведь, как человек, живущий у моря, в конце концов перестает замечать беспрестанный рокот прибоя, так он не замечает и музыку, наполняющую Вселенную. "Земная", то есть обычная музыка является лишь отражением музыки "космической" и находит отзвук в душе у человека лишь потому, что сам человек - частица мироздания, а значит и в нем изначально звучит мировая гармония: так думал великий мыслитель Древней Греции Пифагор.

СОВМЕСТНОЕ ВРАЩЕНИЕ ВНЕШНЕЙ ЗВЕЗДНОЙ СФЕРЫ И СОБСТВЕННЫХ СФЕР ЛУНЫ, СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

В пифагорейской модели мироздания, доработанной его учениками и последователями, собственная сфера небесного тела медленно вращалась вокруг своей оси, закрепленной на внутренней поверхности звездной сферы - этим и объяснялось перемещение светила (Луны, Солнца или планеты) относительно звезд. В то же время быстро вращающаяся звездная сфера принуждала собственную сферу небесного тела участвовать и в суточном вращении - этим объяснялось, что Луна, Солнце и планеты, подобно звездам описывают каждые сутки круговой оборот на земном небе. Таким образом, движение светил в пифагорейской модели представлялось как комбинация двух равномерных круговых движений - движения, обусловленного вращением собственной сферы небесного тела, находящегося на ее экваторе, и движения, связанного с вращением оси этой же сферы вокруг оси Мира. Наблюдаемое отставание светил от суточного вращении звезд (наибольшее у Луны и наименьшее у Сатурна) объяснялось тем, что их собственные сферы вращались в сторону противоположную вращению сферы звезд.

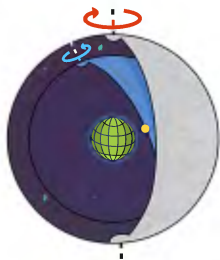
Сферы Луны, Солнца и планет, вращались вокруг общей оси, не совпадавшей с осью Мира (рисунок, иллюстрирующий всю пифагорейскую модель, приведен на вводном развороте этой главы). Сатурн считался самой дальней планетой на том основании, что он наиболее медленно перемещался на фоне звезд. Руководствуясь этим же признаком, сферу Юпитера размещали несколько ближе к Земле, а сферу Марса - еще ближе, чем сферу Юпитера. Солнце иногда ставили сразу за Луной, а иногда "пропускали" ближе к Земле еще и Венеру, и Меркурий.

КАКОЙ БЫЛА КОСМИЧЕСКАЯ МУЗЫКА?

Соотношения размеров небесных сфер, наполнявших мироздание величественной космической музыкой, конечно же, не должны были быть случайными, но какими их представлял сам Пифагор - неизвестно. Согласно наиболее распространенной трактовке восемь небесных сфер звучали словно восемь нот октавы, а следовательно, радиусы сфер должны были быть такими же, как соотношения длин струн в музыкальной октаве. Именно такой вариант пифагорейской модели изображен на вводном развороте этой главы. Так как длины струн верхнего и нижнего "до" октавы различаются в два раза, то и радиус самой маленькой сферы (сферы Луны) должен был быть в два раза меньше, чем радиус самой большой (сферы звезд). Отметим, что сама музыкальная октава - основа всего музыкального строя - была "изобретена" именно Пифагором и практически без изменений дошла до наших дней. Она была лишь слегка модифицирована в начале XVIII века, а несколько раньше нотам были даны их современные названия.

Последователи Пифагора предлагали и другие варианты соотношений радиусов небесных сфер, но во всех случаях подразумевалось, что радиусы небесных сфер находятся в каких-то правильных числовых соотношениях. В одном из вариантов считалось, что каждая последующая сфера расположена в три раза дальше, чем предыдущая. Высказывалось мнение, что радиусы сфер относятся друг к другу как простые числа. Была предложена и так называемая модель небесного гексахорда (семиструнного), в которой радиус сферы Луны относился к радиусам сфер других подвижных светил как единица к разным степеням чисел два и три, т.е. радиусы сфер относились друг к другу как $1:2:3:4:8:9:27$.

Идея Пифагора, о том, что Космос действительно наполнен музыкой, конечно же, была принята далеко не всеми его современниками. Тем не менее, этой идее было суждено прожить больше двух тысячелетий - ее отголоски встречались даже в ранних работах Иоганна Кеплера - выдающегося астронома XVII столетия.



ЗЕМЛЯ-ЭТО ШАР: ОТ ДОГАДКИ К ДОКАЗАТЕЛЬСТВУ

Идея Пифагора о том, что Земля имеет форму сферы - самой совершенной из всех трехмерных фигур, основывалась не только на его представлении о совершенстве и гармонии мира, но и имела под собой некоторую наблюдательную основу. Так, испокон веков было известно, что при приближении к высоким объектам, например, к горам, первоначально появляются из-за горизонта их верхние, а затем уже и нижние части, а это однозначно свидетельствовало о некоторой покатости Земли. Кроме того, греки еще до Пифагора знали, что при передвижении на север или на юг высота Полярной звезды над горизонтом меняется. Это тоже свидетельствовало о кривизне земной поверхности и вполне согласовывалось с предположением, что Земля имеет форму шара, правда, еще не доказывало его.

Первое прямое доказательство шарообразности Земли привел великий древнегреческий мыслитель Аристотель (384-322 гг. до н.э.). В основе доказательства лежал тот факт, что земная тень, которую можно наблюдать во время лунных затмений, всегда имеет круглую форму. Причина затмений была хорошо известна еще вавилонским астрономам - во время лунно-го затмения Земля находится между Солнцем и Луной на одной линии с ними, и поэтому тень Земли попадает на поверхность Луны.

Шар раскаленный, золотой
Пошлет в пространство луч огромный,
И длинный конус тени темной
В пространство бросит шар другой.

(А. Блок)

Так как по форме тени можно судить о форме создающего ее объекта, то нетрудно было сделать вывод, что Земля круглая. Но круглая - еще не значит шарообразная, ведь круглую тень могла бы отбрасывать и плоская Земля, имеющая круглый край. Аристотель догадался, что дисковидная Земля отбрасывала бы круглую тень только тогда, когда Солнце находилось бы строго под ней. Иными словами круглая тень Земли наблюдалась бы только во время лунных затмений, происходящих при положении Луны в зените. В тех же случаях, когда лунное затмение происходило бы при положении Луны вблизи горизонта, тень Земли должна была иметь овальную форму. Поскольку земная тень во время лунных затмений всегда круглая, вне зависимости от высоты Луны над горизонтом, Земля должна иметь форму шара.

Многие древнегреческие ученые задумывались и о размерах Земли. Наиболее ранняя оценка длины окружности земного шара, правда, завышенная более чем в полтора раза, была упомянута самим Аристотелем - 400 тысяч стадий (около 63 тысяч км). Но кто и каким образом ее вычислил остается неизвестным.

Попытки определить длину окружности земного шара предпринимались древнегреческими учеными неоднократно. Наиболее удачно это удалось сделать в III в. до н.э. Эратосфену Киренскому (около 276-194 гг. до н.э.), который был одним из хранителей знаменитой Александрийской библиотеки и выдающимся географом своего времени, составившим первую географическую карту, на которой были проведены параллели и меридианы. С помощью несложных, но остроумных астрономических наблюдений Эратосфен установил разницу между значениями географической широты городов Сиена и Александрия, расположенных примерно на одном меридиане. Затем Эратосфен измерил расстояние между этими городами. Получив таким образом длину и угловой размер отрезка дуги земной окружности, он без труда вычислил и длину всей окружности. Несмотря на примитивность примененных Эратосфеном методов измерения углов и расстояний, ему удалось получить поразительно точное значение длины земной окружности, лишь на 2% отличающееся от истинного.

Таким образом, древнегреческие ученые не только доказали, что Земля это шар, но и хорошо представляли его размеры.

КОНЦЕПЦИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ

Идея шарообразности Земли даже после ее доказательства, приведенного Аристотелем, подвергалась критике со стороны некоторых античных мыслителей. Ведь если Земля является шаром, то получается, что существует и ее обратная сторона, и в таком случае, люди, если они там есть, должны были бы ходить вниз головой, дождь идти снизу вверх, а, скорее всего, ни люди, ни какие-либо предметы, ни вода просто не удерживались бы на поверхности и безвозвратно улетали бы с нее в том направлении, которое считалось всеобщим "низом".

Это затруднение удалось преодолеть с помощью так называемой "концепции естественных движений", сущность которой сводилась к двум постулатам:

- небесные тела совершают вокруг находящейся в центре Вселенной Земли равномерное движение по идеальным окружностям (звезды), или же совершают сложное движение, которое может быть представлено как комбинация равномерных движений по идеальным окружностям (Луна, Солнце, планеты);

- естественное движение земных тел иное - лишённое воздействия внешних сил, они падают прямолинейно к центру Вселенной, т.е. к центру Земли. В каждой точке земной поверхности такое направление соответствует местному понятию "вниз". Заметим, что концепция естественных движений не включала в себя понятие гравитации - в ней подразумевалось не взаимное притяжение тел, а лишь притяжение земных тел к центру Вселенной.

Концепция естественных движений вполне соответствовала наблюдениям, и она выполняла роль фундаментального закона природы вплоть до времен Кеплера и Галилея. Казалось, она подвела физическую основу под построенную Пифагором и его последователями модель Вселенной, которая, таким образом, состояла из двух абсолютно разных миров, подчиняющихся совершенно разным законам. Первый - это мир идеального Космоса, вечный и совершенный. Второй - это бренный и далекий от совершенства мир, расположенный под сферой Луны (отсюда и сохранившееся до наших дней выражение - "подлунный мир").

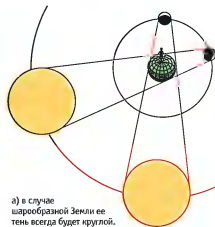
МЕТОД ЭРАТОСФЕНА

Разницу между значениями географической широты городов Сиена и Александрия Эратосфену удалось установить путем сравнения углов падения солнечных лучей в этих городах, определенных для одного и того же момента времени. Город Сиена (ныне Асуан) располагается в Верхнем Египте на широте Северного тропика, и в полдень 22 июня солнце в Сиене находится в зените, при этом предметы не отбрасывают никакой тени, а дно вертикального колодца полностью освещено солнечными лучами. Иными словами направление солнечных лучей совпадает с направлением оси колодца CD (согласно легенде Эратосфен еще в детстве наблюдал в Сиене, как полуденное солнце в день летнего солнцестояния отражается на дне глубокого колодца). Город Александрия находится значительно севернее, и в этот же момент времени предметы там отбрасывают хотя и небольшую, но заметную тень. Как видно из рисунка, если точка А - вершина вертикальной башни в Александрии, а точка В - конец тени от этой башни, то направление отрезка АВ совпадает с направлением солнечных лучей. Так как Солнце находится очень далеко от Земли, то его лучи, падающие на земную поверхность, а следовательно и отрезки CD и АВ, можно считать практически параллельными. Если продолжить вниз оси вертикального колодца в Сиене и вертикальной башни в Александрии, то они пересекутся в точке О - центре Земли. Таким образом, угол COA равен разности широт между двумя городами. Непосредственно измерить этот угол невозможно, но углы COA и OAB должны быть равны как внутренние накрестлежащие при параллельных прямых. Определите же угол OAB для Эратосфена не составляя большого труда - он оказался равным 1/50 от полного угла.

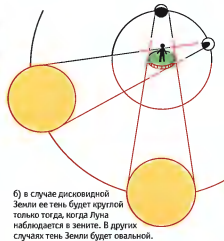
После этого оставалось оценить расстояние между Сиеной и Александрией. В те времена самым точным методом измерения больших расстояний был подсчет количества дневных переходов, которые придется сделать каравану верблюдов. Караван ежедневно проходит 100 стадий (т.е. примерно 15,7 км), а путь из Сиены в Александрию преодолевался за 50 дней. Таким образом, по оценке Эратосфена расстояние между этими двумя городами составляло 5 000 стадий, а полная длина дуги земной окружности - 250 000 стадий (39 250 км).

Заметим, что все вышеприведенные рассуждения справедливы только при условии, если города Сиена и Александрия находятся на одном меридиане. В действительности это не совсем так, а значит, или Эратосфен ввел в свои вычисления соответствующую поправку, или же случайное сочетание ошибок измерений привело к их взаимоисключению. Так или иначе, но результат полученный Эратосфеном удивительно близок к значению длины дуги меридиана, принимаемому в настоящее время - 40 008 км.

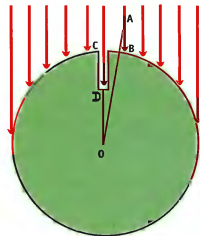
СХЕМЫ ЛУННЫХ ЗАТМЕНИЙ ПРИ РАЗНЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ ЛУНЫ НАД ГОРИЗОНТОМ



а) в случае шарообразной Земли ее тень всегда будет круглой.



б) в случае дисковидной Земли ее тень будет круглой только тогда, когда Луна наблюдается в зените. В других случаях тень Земли будет овальной.



"Тоскою, в полночь пробужденный,
С моим я сердцем говорил
О древнем здании вселенной
О дивных таинствах светил."
Ф. Глинка

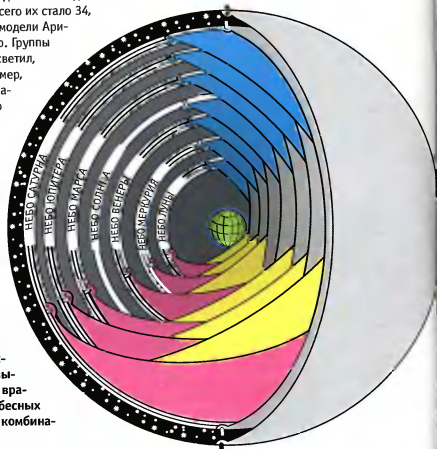
Модель мироздания Пифагора была гармонична и прекрасна, и, казалось бы, хорошо объясняла наблюдаемую картину движения небесных светил. Но как сказал в XIX веке известный английский геолог Томас Гексли: "величайшая трагедия науки состоит в том, что даже самую прекрасную теорию убивает один безобразный факт". Таким "безобразным фактом" для теории Пифагора являлось то, что планеты на фоне звезд двигаются неравномерно - то быстрее, то медленнее, а иногда даже ненадолго поворачивают вспять, как бы петляя. **Эти неправильности в движении планет были несовместимы с представлением о равномерно вращающихся сферах, на которых они якобы были закреплены.**

Петляния планет на фоне неподвижных звезд были обнаружены еще вавилонскими астрономами, но Пифагор, вероятно, об этом ничего не знал. Вскоре эти неправильности в движении планет стали известны и грекам. Сознав важность проблемы неравномерности движения планет, великий древнегреческий ученый Платон (428-348 гг. до н.э.) поставил ее для разрешения перед своими учениками.

Первый вариант решения проблемы неравномерности движения планет на небе предложил один из учеников Платона Евдокс Книдский (408-355 гг. до н.э.). В его решении подразумевалось, что движение каждого светила на земном небе определяется сложным совместным вращением группы из нескольких взаимосвязанных концентрических сфер - так, движение каждой из планет определялось в системе Евдокса совместным вращением четырех сфер. Внутри группы сфер, отвечавших за движение одной планеты, размещалась группа, отвечавшая за движение следующей планеты, и т.д. Подобную группу сфер необходимо было ввести и для Луны, которая, хотя и не совершает петляний, но тоже движется на фоне звезд с заметной неравномерностью. Гораздо менее заметна неравномерность движения Солнца, и поэтому, в первом приближении, ею можно пренебречь. Всего вместе с самой внешней сферой, на которой помещались неподвижные звезды, и сферами, отвечающими за движение Солнца и Луны, система Евдокса включала 27 концентрических сфер, сложным образом соединенных между собой и вращающихся вокруг разноориентированных осей с разными скоростями и в разных направлениях.

Но, оказалось, что и такая система описывает движение светил на земном небе недостаточно точно, и пришлось ввести в модель с вращающимися сферами новые поправки. Один из учеников Евдокса - Каллип - добавил каждой планете, Солнцу и Луне еще по одной сфере, и всего их стало 34, что улучшило согласие с наблюдениями, а в модели Аристотеля вокруг Земли вращалось уже 56 сфер. Группы сфер, отвечающие за движение отдельных светил, позднее стали называть "небесами", например, "небо Луны", "небо Меркурия" или "небо Сатурна". Всего таких "небес" было семь - по количеству подвижных светил. Самая внешняя, божественная сфера (primum mobile - перводвигатель), по представлениям Аристотеля, своим вращением приводила в движение все остальные.

Конечно, столь громоздкая система уже вряд ли могла наполнить мироздание прекрасной музыкой, зато движение небесных светил хорошо согласовывалось с наблюдениями. **Вселенная "становилась" все более и более сложно устроенной, однако главные догмы сложившейся к этому времени картины мира оставались неизблевыми: как и прежде, в центре покоилась неподвижная Земля, а основу структуры Космоса составляли совершенные сферы, выполнявшие совершенные равномерные вращения, при этом движение каждого из небесных светил можно было представить в виде комбинации равномерных круговых движений.**



ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ СОВМЕСТНОГО РАЗНОНАПРАВЛЕННОГО ВРАЩЕНИЯ ДВУХ СФЕР

На серии рисунков показано изменение взаимного положения третьей и четвертой сфер одной группы и связанное с этим периодическое возвратно-поступательное движение планеты. Амплитуда движения планеты тем больше, чем больше величина угла между осями третьей и четвертой сфер. Евдоксу удалось рассчитать для каждой планеты, какими должны быть углы между этими осями, чтобы модель удовлетворяла реально наблюдаемым движениям планет на небе.

Для сравнения при помощи стрелки показано, как двигалась бы планета, если бы вкруг своей оси вращалась только внешняя (третья) сфера, а внутренняя (четвертая) сфера оставалась бы зафиксированной.



ГРУППЫ ИЗ ЧЕТЫРЕХ ВЗАИМОВСВЯЗАННЫХ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ СФЕР, СОВМЕСТНОЕ ВРАЩЕНИЕ КОТОРЫХ ОБЪЯСНЯЕТ ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ

Каждая из четырех сфер вращается вокруг собственной оси, причем каждая из двух осей закреплена на поверхности более внешней сферы. Три внешних сферы нужны лишь для передачи соответствующих движений и не несут на себе ничего, а сама планета находится на экваторе четвертой (внутренней) сферы.

Первая (внешняя) сфера вращается точно так же, как и сфера звезд - вокруг той же оси, в том же направлении и с той же скоростью. Вторая сфера вращается в противоположном направлении вокруг оси, наклоненной таким образом, что плоскость ее экватора совпадает с плоскостью эклиптики. Период обращения второй сферы у всех планет разный - он равен периоду, в течение которого планета совершает на фоне звезд полный круг. По-существу, первые две сферы эквивалентны двум сферам модели Пифагора - сфере звезд и собственной сфере планеты.

Третья и четвертая сферы вращаются вокруг своих осей с одним и тем же периодом в один земной год, но в противоположных направлениях. Во введении этих двух сфер заключена основная идея модели Евдокса - в результате сложения их вращений, планета, находящаяся на экваторе внутренней сферы, совершает возвратно-поступательное движение, период которого равен одному году. Сложение этого возвратно-поступательного движения с равномерным движением второй сферы и приводит, согласно этой модели, к петлянию планет на земном небе.



МОДЕЛИ МИРОЗДАНИЯ ЕВДОКСА, КАЛЛИПА И АРИСТОТЕЛЯ

В модели Евдокса, изображенной на предыдущей странице, самая внешняя звездная сфера и первые (внешние) сферы всех семи групп, ответственных за движение светил, вращались совершенно идентично, так словно они составляли единую жесткую конструкцию, соединенную реально существующей общей осью. Однако, если бы такая ось действительно существовала, то она мешала бы вращению всех остальных (вторых, третьих и четвертых) сфер групп, поэтому оставалось неясным, каким образом суточное вращение внешней сферы одной группы передается внешней сфере другой (более внутренней) группы. Евдокс не решил, а может быть, и не пытался решить эту проблему - группы сфер, отвечающих за движение отдельных светил, в его модели не были связаны между собой, идентичность вращения первых (внешних) сфер всех семи групп суточному вращению внешней звездной сферы просто постулировалась. Этот недостаток был и у модели Каллипа.

Проблему передачи суточного вращения от одной группы сфер к другой удалось решить Аристотелю. В качестве исходной модели Аристотель взял более точную модель Каллипа, в которой каждой планете приписывалась группа из пяти сфер - первая (внешняя) повторяла суточное вращение сферы звезд, а четыре других определяли собственное движение планеты, расположенной на пятой (внутренней) сфере. Необходимо было каким-то образом компенсировать вращение всех сфер кроме внешней, и Аристотель ввел в каждую группу по четыре дополнительных сферы. Шестая сфера вращалась вокруг той же оси и с той же скоростью, что и пятая, но в противоположную сторону, тем самым вращение пятой сферы полностью компенсировалось. Аналогично седьмая сфера своим вращением компенсировала вращение четвертой сферы, восьмая - третьей, а девятая - второй. Таким образом, к следующей группе передавалось вращение первой сферы, что и было целью выполнявшейся Аристотелем модификации. Подобную компенсацию необходимо было произвести также и для группы сфер, отвечающих за движение Солнца. Лишь группа сфер, отвечающих за движение Луны, в модели Аристотеля осталась такой же, как в модели Каллипа - Луна была самым нижним небесным телом, и компенсировать вращение ее сфер уже не требовалось.

ИЗМЕРЯЯ МАСШТАБЫ ВСЕЛЕННОЙ

В модели мироздания Пифагора и построенных затем на ее основе моделях Евдокса, Калиппа и Аристотеля Вселенная считалась конечной и ограниченной. Тем не менее, древнегреческие ученые понимали, что масштабы Вселенной огромны. Так, Аристотель писал: "Размеры Земли ничтожны, совершенно ничтожны по сравнению с просторами небес". Однако вопрос о количественных оценках масштабов мироздания, как и размеров светил и их размеров во времена Аристотеля оставался по-прежнему совершенно открытым. Даже последовательность расположения небесных тел относительно Земли была лишь предположительной: группы сфер ("небеса"), ответственные за видимое движение светил, включая и сферу звезд, можно было, в принципе, менять местами в произвольном порядке. Надежно было известно лишь то, что самым близким к Земле небесным телом является Луна, так как она иногда заслоняла собой и Солнце, и планеты, и звезды. Но сколь близко расположена Луна и насколько дальше находятся от Земли все остальные светила было совершенно неизвестно.

Первым ученым, кому удалось добиться реальных успехов в понимании масштабов Космоса, был выдающийся древнегреческий математик и астроном Аристарх Самосский (около 310 - около 250 гг. до н.э.). Сравнив угловые размеры Луны и земной тени, закрывающей ее во время лунных затмений, и рассмотрев возможные схемы хода солнечных лучей, **Аристарх показал, что радиус Земли примерно в 3,5 раза больше, чем радиус Луны** (по современным данным - в 3,7 раза). Установив реальные размеры Луны, нетрудно было определить и расстояние до нее. Для этого необходимо было лишь измерить кажущиеся угловые размеры лунного диска и произвести соответствующие вычисления. **Расстояние до Луны оказалось равным примерно 60 земным радиусам**, что с большой точностью совпадает с современными данными.

Аристарх предпринял и первую попытку определить расстояние до Солнца. Измерив угол между направлениями на Солнце и на Луну в тот момент, когда освещена ровно половина лунного диска, и определив в каком взаимном положении при этом должны находиться Солнце, Луна и Земля, Аристарх пришел к выводу, что расстояние от Земли до Солнца примерно в 20 раз больше, чем от Земли до Луны. Идея Аристарха была правильной по своей сути, но точность измерений была недостаточной, и полученный результат оказался заниженным в 20 раз. Однако, навряд ли можно осуждать древнегреческого ученого за эту ошибку, ведь первооткрывателю истина не известна даже приблизительно. Заметим, что найденное Аристархом значение расстояния до Солнца считалось верным даже во времена Кеплера и Галилея и было пересмотрено только в 1672 году!

Зная расстояние между Солнцем и Землей, нетрудно найти и размеры нашего дневного светила. Правда, так как в измерениях Аристарха это расстояние оказалось примерно в 20 раз меньше реального, то во столько же раз заниженными оказались и размеры Солнца. Но даже и в этом случае они оказались очень внушительными - по Аристарху, радиус Солнца был примерно в пять с половиной раз больше земного радиуса. Это оказалось весьма неожиданно - ведь получалось, что очень большой объект вращается вокруг сравнительно маленького. Тем не менее, доводы Аристарха были столь убедительными, что в дальнейшем тот факт, что **Солнце по своим размерам намного превосходит земной шар**, уже не подвергался сомнению.

Даже если бы Аристарх больше ничего не сделал в науке, кроме этих самых первых попыток выразить размеры мироздания числом, этого было бы вполне достаточно, чтобыискать ему славу одного из величайших ученых античности. Однако в историю науки Аристарх вошел прежде всего как автор первой гелиоцентрической модели Вселенной, о чем и пойдет речь в следующем разделе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТОЯНИЙ ДО СОЛНЦА И ЛУНЫ И ИХ РАЗМЕРОВ

Испокон веков внимание людей обращало на себя примерное равенство видимых угловых размеров солнечного и лунного дисков на земном небе. Из этого, в общем-то, случайного обстоятельства можно было сделать один важный вывод: Солнце расположено во столько раз дальше от Земли, чем Луна, во сколько его линейные размеры больше, чем линейные размеры Луны. Зная угловые размеры Солнца и Луны нетрудно было определить и во сколько раз расстояние до этих светил превышает их собственные радиусы. Так как и Солнце, и Луна выглядят на земном небе в виде дисков с угловым радиусом чуть превышающим одну четверть градуса, то из этого следует, что расстояние до них примерно в 220 раз превышает их радиусы (а). Однако ни радиусы Солнца и Луны, ни расстояния до этих тел, ни соотношения их размеров, вплоть до работ Аристарха известны не были.

Наблюдая лунные затмения, Аристарх отметил, что радиус лунного диска примерно в 2,5 раза меньше, чем радиус закрывающей его земной тени. Однако, было неясно, как соотносятся размеры земной тени с размерами самой Земли. В зависимости от размеров источника света (в данном случае - Солнца) тень может быть как меньше, так и больше, чем отбрасывающий ее объект, а соотношение размеров Земли и Солнца оставалось неизвестным. Рассмотрим два крайних случая.

Вначале допустим, что Солнце имеет минимально возможные размеры и находится максимально близко к Земле, т.е. на расстоянии равном расстоянию от Земли до Луны (ближе Луны Солнце находится не может, так как заслоня-

ется Луной во время солнечных затмений). В этом случае (б) расстояние от Земли до Солнца ES и расстояние от Земли до Луны EL можно считать практически равными, радиус Солнца SD также можно считать практически равным радиусу Луны LA, а земная тень по мере удаления от Земли должна расширяться. Радиус земной тени LB и радиус Солнца SD являются двумя основаниями трапеции LBDS, поэтому радиус Земли EC должен быть равен их полусумме. Т.к. $SD = LA, LB = 2,5 LA$, то радиус Земли EC должен быть в 1,75 раза больше радиуса Луны LA.

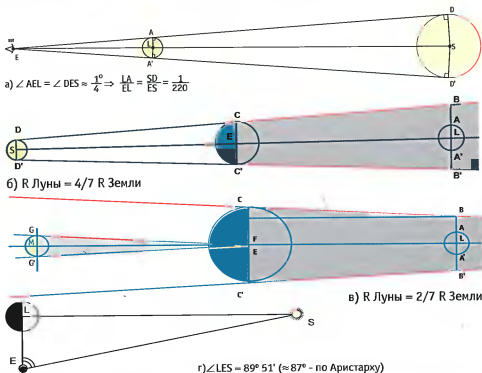
Теперь допустим, что Солнце намного больше Земли и расположено от нее очень далеко. В этом случае (в) земная тень по мере удаления от Земли будет сужаться, причем на расстоянии равном расстоянию от Земли до Луны радиус земной тени LB уменьшится по сравнению с радиусом самой Земли EC на величину одного лунного радиуса LA. Несколько упрощенное геометрическое доказательство этого утверждения приводится ниже. Предворительно надо рассмотреть схему солнечного затмения, которая показана на этом же рисунке слева от Земли. Лунная тень имеет форму сужающегося конуса, причем ее радиус на расстоянии от Луны до Земли уменьшается до нуля, т.е. на величину одного радиуса самой Луны (в действительности, из-за эллиптичности лунной орбиты расстояние от Луны до Земли меняется, поэтому вершина конуса лунной тени то не достает до земной поверхности, то, наоборот, находится уже за ней - в последнем случае на небольшом затененном участке земной поверхности наблюдается полное солнечное затмение).

Так как Солнце находится на большом удалении, то его лучи, очерчивающие лунную и земную тень (GE и CB, соответственно), можно считать параллельными. На схеме лунного затмения параллельно линии EL, соединяющей центры Земли и Луны, проведем дополнительную линию FB (отметим при этом попарное равенство отрезков $LB=EF$ и $EL=FB$). Из параллельности GE и CB и параллельности ME и FB следует равенство углов FBC и MEG. В то же время углы CFB и GME равны как прямые, а отрезок FB равен отрезку ME. Из равенства этих отрезков, а также из равенства вышеназванных пар углов, вытекает равенство треугольников FBC и MEG, а значит равны и отрезки CF и GM. Иными словами радиус Земли EC больше, чем радиус земной тени $LB=EF$, на величину одного радиуса Луны $CF=GM$, т.е. радиус Земли EC в 3,5 раза больше радиуса Луны.

Из приведенных рассуждений следует, что радиус Луны должен быть не больше $4/7$ радиуса Земли (случай а), но и не меньше $2/7$ радиуса Земли (случай б). Чтобы отдать предпочтение той или иной схеме, или остановиться на каком-либо промежуточном варианте, необходимо независимым способом узнать соотношение расстояний до Солнца и до Луны, и Аристарху удалось придумать остроумный способ определить это соотношение (г).

Так как плоскость, в которой находится граница освещенное и неосвещенное полушария Луны, должна быть перпендикулярна линии SL, соединяющей Солнце и Луну, то в тот момент, когда земной наблюдатель видит Луну точно в виде половины круга, угол SLE равен 90° , т.е. Солнце, Луна и Земля находятся в вершинах прямоугольного треугольника SLE. Для того, чтобы определить соотношение сторон этого треугольника, необходимо знать, чему равен еще один из его углов, например, угол LES, который может быть непосредственно измерен. Аристарх нашел, что этот угол равен примерно 87° , но так как определить на глаз тот момент, когда именно освещена ровно половина лунного диска, довольно сложно, то Аристарх ошибся - в действительности же искомый угол составляет около $89^\circ 51'$. Небольшая ошибка в определении угла LES привела к значительному занижению соотношения $SE:LE$ - по Аристарху Солнце расположено примерно в 20 раз дальше, чем Луна, тогда как в действительности - почти в 400 раз.

После того как Аристарх установил, что Солнце находится значительно дальше, чем Луна, можно было уверенно утверждать, что справедлива вторая из вышерассмотренных схем лунного затмения, и, следовательно, радиус Луны примерно равен $2/7$ радиуса Земли. Опираясь на это значение, уже было нетрудно рассчитать и расстояние до Луны: как указывалось выше, из угловых размеров лунного диска на земном небе следует, что расстояние до Луны примерно в 220 раз больше чем ее радиус, т.е. округленно оно составляет около 60 земных радиусов. В свою очередь, установив расстояние до Луны и ее размеры и определив, что Солнце находится в 20 раз дальше, чем Луна, легко было вычислить соответствующие параметры и для Солнца.



В ПОИСКАХ АЛЬТЕРНАТИВЫ

Античные ученые, вставшие на путь геоцентризма, вынуждены были по мере уточнения наблюдений вводить поправки в свою модель мироздания, добавляя в нее все новые и новые вспомогательные сферы. Простая и изящная модель Пифагора превратилась после "модификаций" Евдокса, Каллипа и Аристотеля в исключительно сложную конструкцию, которая хотя и описывала наблюдаемое движение небесных светил, но из-за своей громоздкости многим казалась малоубедительной. В таких случаях, когда ради спасения первичной идеи приходится идти на всевозможные ухищрения и усложнения, правильнее всего попытаться пересмотреть ее изначальные послышки. Такие попытки, удивительные по своей глубине, были предприняты еще в Древней Греции. Прежде всего, они связаны с именами Гераклида Понтийского и Аристарха Самосского.

Гераклид Понтийский (388 - около 314 гг. до н.э.) наряду с Евдоксом Книдским и Аристотелем, был одним из учеников Платона, и, как и все ученые того времени, считал, что в центре мироздания расположена Земля. **Но Гераклид был первым, кто указал, что суточное движение небесных тел проще объяснить не быстрым вращением всей Вселенной вокруг неподвижной Земли, а вращением самой Земли вокруг своей оси.** Сферу звезд он рассматривал как неподвижную, а остальные светила, в представлении Гераклида, хотя и вращались вокруг Земли, но не так быстро как об этом принято было думать в те времена. Так, Солнце совершало один оборот вокруг Земли не за сутки, а за год, что можно было установить по его перемещению относительно созвездий.

Предположение Гераклида о суточном вращении Земли вокруг своей оси позволяло упростить чрезмерно сложную модель Аристотеля - во всяком случае, количество взаимосвязанных концентрических сфер можно было значительно сократить. Однако, эта идея не была принята современниками Гераклида, ведь, казалось, что если Земля действительно вращается вокруг своей оси, то люди должны были бы чувствовать это вращение.

Оставаясь сторонником геоцентрической модели, Гераклид сделал еще один важный шаг на пути к гелиоцентризму. В наблюдаемых движениях планет помимо их регулярных петляний была известна еще одна особенность - две из них, Венера и Меркурий, всегда находились на небе недалеко от Солнца. Венеру чаще всего удавалось наблюдать или перед восходом Солнца, или после его заката - за что ее называли, соответственно, или Утренней (Фосфор), или Вечерней (Геспер) звездой. Меркурий же из-за своего совсем близкого расположения от Солнца и вовсе удавалось наблюдать довольно редко. В модели Пифагора такое удивительное поведение этих двух планет не объяснялось никак, а Евдокс и, следом за ним, Каллип и Аристотель, просто подобрали такие скорости и направления осей вращения гипотетических сфер, составляющих "небо" Венеры и "небо" Меркурия, так наблюдаемое движение этих двух планет согласовывалось с движением Солнца. **Гераклид же объяснил постоянное нахождение Венеры и Меркурия в околосолнечном секторе неба тем, что эти две планеты вращаются непосредственно не вокруг Земли, а вокруг Солнца.** Само же Солнце, по мысли Гераклида, вращалось вокруг Земли, так же как и Луна, Марс, Юпитер и Сатурн.

Модель Гераклида являлась очень важной в идейном плане, так как в ней Солнце впервые ставилось одним из центров, вокруг которого что-либо вращалось. Но, к сожалению, и эта идея была отвергнута большинством из современников Гераклида. Тем не менее, его предствления не были забыты, и в следующем веке Аристарх Самосский пошел еще дальше - он высказал гениальную догадку о том, что вокруг Солнца вращаются не только Меркурий и Венера, но и все остальные планеты, в том числе и сама Земля.

Есть некий час, в ночи всемирного молчанья,
И в оный час явлений и чудес
Живая колесница мироздания
Открыто катится в святилище небес.
(Ф.Тютчев)

Суточное движение всех небесных светил вокруг Земли Аристарх считал кажущимся, и так же как и Гераклид, объяснял его вращением земного шара вокруг своей оси.

По-видимому, к идее гелиоцентризма Аристарха подтолкнули найденные им же соотношения размеров Солнца и Земли. Действительно, если Солнце намного больше Земли, то не логичнее ли предположить, что маленькая Земля вращается вокруг большого Солнца, а не наоборот? Аристарх показал, что выдвинутая им гелиоцентрическая модель Вселенной позволяет объяснить видимое движение небесных тел не хуже, чем традиционная модель со взаимосвязанными планетными сферами, при этом его модель была гораздо проще, чем модель Аристотеля. С позиций гелиоцентризма, Венера и Меркурий всегда наблюдались в околосолнечном секторе неба просто потому, что орбиты

этих планет располагались внутри земной орбиты. А неравномерности в движении планет, в том числе, и их "петляния" являлись, по мнению Аристарха, лишь кажущимися, обусловленными тем, что наблюдения ведутся не с неподвижного объекта, а с движущейся вокруг Солнца Земли.

Несмотря на явные достоинства модель Аристарха была встречена его современниками очень скептически. Прежде всего, гелиоцентрическая модель противоречила религиозно-философским традициям античности: Земля в такой модели, по-существу, становилась одним из космических объектов, тогда как к этому времени в древнегреческой философии прочно утвердилось представление о принципиально различной природе небесного и земного.

Противоречила гелиоцентрическая модель мироздания и концепции естественных движений, ставшей к тому времени незыблемой научной догмой. Ведь если роль центра Вселенной, вокруг которого должны вращаться небесные тела, переходила к Солнцу, то становилось непонятным, почему Луна вращается вокруг Земли: получалось, что во Вселенной существует не один центр, вокруг которого вращаются другие тела, а два. Становилось непонятным и то, почему предметы имеют свойство падать по направлению к центру Земли, которая уже не являлась центром Вселенной. Ошибочность таких рассуждений в наше время совершенно очевидна, но для древнегреческих мыслителей, не имевших понятия о гравитации, эти доводы против гелиоцентрической модели казались очень весомыми. Кроме того, как уже упоминалось, большинство античных ученых отрицало возможность осевого вращения Земли, а в модели Аристарха земной шар должен был обязательно вращаться вокруг своей оси.

Как это часто бывает в науке, идеи, опережающие свое время, не принимаются другими учеными. Такая же участь постигла и гелиоцентрическую модель Аристарха, которая опередила свое время не на десятки, и даже не на сотни лет, а, как минимум, на полтора тысячелетия.

ПРИЧИНА КАЖУЩИХСЯ ПЕТЛЯНИЙ ПЛАНЕТ

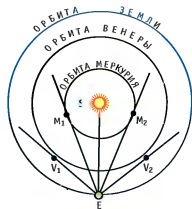
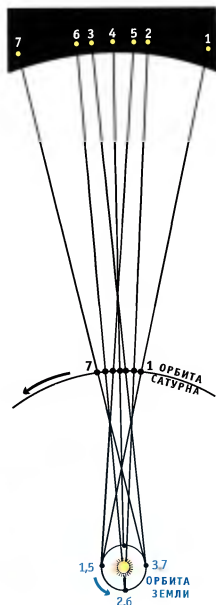
Истинное решение платоновой проблемы связано с тем, что мы наблюдаем планеты с движущейся Земли. В качестве примера, рассмотрим наблюдаемое на земном небе движение Сатурна. Очевидно, что положение Сатурна на фоне бесконечно далеких звезд, по сути дела, определяется ориентацией в мировом пространстве линии, соединяющей эту планету с Землей. На пояснительной схеме положение Земли и Сатурна относительно считающегося неподвижного Солнца, а также положение линии, соединяющей две планеты, показаны с интервалом через три месяца.

Как видно из рисунка, линия, соединяющая Сатурн и Землю, в целом изменяет свою ориентацию, как бы вращаясь против часовой стрелки. С точки зрения земного наблюдателя это выглядит как движение Сатурна на фоне звезд с запада на восток ("прямое" движение). Однако, в периоды близкие к противостояниям соотношение истинных движений двух планет таково, что соединяющая их линия изменяет свою ориентацию, как бы поворачиваясь по часовой стрелке. Земной наблюдатель в это время видит, что Сатурн меняет направление движения и перемещается в "обратную" сторону, т.е. с востока на запад. "Обратное" движение Сатурна (как и других внешних планет) обусловлено тем, что его линейная скорость при движении по своей орбите меньше, чем линейная скорость Земли: в периоды близкие к противостояниям, когда "курсы" двух планет параллельны, Сатурн просто "отстает" от Земли.

Очевидно, что и с точки зрения гипотетического наблюдателя, находящегося на Сатурне, Земля тоже будет петлять на фоне звезд. При этом петляния Земли на сатурнианском небе будут происходить в непосредственной близости от Солнца, подобно тому, как около Солнца осуществляют свои петляния на земном небе Венера и Меркурий.

УСЛОВИЯ НАБЛЮДЕНИЯ ВЕНЕРЫ И МЕРКУРИЯ НА ЗЕМНОМ НЕБЕ

Так как орбиты Меркурия и Венеры находятся внутри земной орбиты, то углы между направлениями с Земли на Солнце и на эти планеты никогда не превышают 48° для Венеры и 28° для Меркурия. Следовательно, земной наблюдатель всегда будет видеть эти планеты в окосолнечном секторе неба.



ОТ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ СФЕР К ДЕФЕРЕНТАМ И ЭПИЦИКЛАМ

Современники Аристарха не признали его модель Вселенной, однако, та проста, с которой она решала платонову проблему, не давала покоя еще целое столетие. Идеи Аристарха продолжали будоражить наиболее пытливые и смелые головы, пока во II в. до н.э. один из самых блестящих астрономов античности Гиппарх (около 185 - 125 гг. до н.э.) не осуществил эксперимент, целью которого было выявить, какая из двух моделей, гео- или гелиоцентрическая, является истинной. **В случае геоцентрической Вселенной, положение звезд на небе друг относительно друга в течение года должно оставаться постоянным, а в случае гелиоцентрической - оно должно меняться, так как изменяет свое положение точка, с которой производятся наблюдения, т.е. Земля.**

Идея Гиппарха была совершенно верна, но **точность измерений в то время была недостаточной, поэтому искомый (и действительно существующий) эффект не был обнаружен.** Это было воспринято как убедительное доказательство истинности геоцентрической системы, и блестящая догадка Аристарха была отвергнута более чем на полтора тысячелетия.

Однако, к этому времени выяснилось, что даже самая совершенная из моделей со взаимосвязанными концентрическими сферами описывала движение планет не совсем точно, поэтому несмотря на экспериментальное "подтверждение" геоцентрическая модель Вселенной нуждалась в серьезной доработке. Путь добавления в модель мироздания новых сфер, после того как Аристотель довел их общее число до 56, уже не казался перспективным - требовались какие-то принципиально новые решения.

Еще за столетие до работ Гиппарха древнегреческий математик и астроном Аполлоний Пергский (около 260 - около 170 гг. до н.э.) разработал теорию эпициклов - математический способ, позволяющий представить сложное движение тел, как комбинацию простых круговых движений. **Идея Аполлония состояла в том, что каждая планета движется по малой окружности (эпициклу), центр которой, в свою очередь, движется по большой окружности (деференту) вокруг Земли.** Сочетание движений по деферентам и эпициклам и приводит, как полагал Аполлоний, к неравномерности наблюдаемого движения планет на небосводе. Заметим, что и в этом случае, сложное неравномерное движение небесных тел представлялось как комбинация простых равномерно-круговых движений.

Дальнейшая разработка модели Мира была осуществлена спустя столетие Гиппархом. Гиппарх оставил очень большой след в астрономии - он разработал весьма точную теорию движения Солнца и Луны, обнаружил явление прецессии, составил звездный каталог, в котором зафиксировал положение на небе 850 звезд, и сделал ряд других важных открытий, снижавших ему славу одного из самых выдающихся астрономов античности. Как и Аполлоний он полагал, что планеты обращаются по деферентам и эпициклам, а для объяснения неравномерности движения Солнца и Луны Гиппарх нашел еще более простое решение: он немного сместил центры их орбит относительно Земли. Такие орбиты были названы "эксцентриками". Сама же Земля, по представлению Гиппарха, находилась строго в центре Вселенной, то есть в центре самой внешней сферы, несущей звезды. Конечно, введение эпициклов для планет и эксцентрических (смещенных относительно Земли) орбит для Солнца и Луны, делали модель мироздания менее совершенной, чем идеально центрированная Вселенная Пифагора, ведь получалось, что и планеты, и Солнце, и Луна совершали свои непосредственные движения как бы вокруг пустого места. Однако без таких допущений было невозможно согласовать геоцентрическую модель мироздания с новыми более точными, чем во времена Платона и Аристотеля, астрономическими наблюдениями.

Завершить создание астрономической картины Мира выпало на долю знаменитого александрийского астронома Клавдия Птолемея (87-165) два с половиной столетия спустя. В своем главном сочинении "Тринадцать книг математического построения", более известном под сокращенным арабизированным названием "Альмагест", Птолемей обобщил не только свои астрономические наблюдения и построения, но и работы всех своих предшественников. В идейном плане модель Птолемея мало отличалась от предложенной Гиппархом, но была полнее и намного сложнее. Важнейшим вкладом самого Птолемея в геоцентрическую модель явилась разработка очень точной по тем временам теории видимого движения планет, в основе которой лежали представления об эксцентриках, эпициклах и деферентах. Вместе с теорией движения Солнца и Луны она составила его геоцентрическую систему Мира.

Неправильности в движении планет, которые не могли быть объяснены с помощью эпициклов, Птолемей объяснял движением по эпи-эпициклам. Получалось, что планеты двигались по небольшим

окружностям (эпи-эпициклом), центры которых двигались по окружностям большего размера (собственно эпициклом), центры которых, в свою очередь, двигались по самым большим окружностям (деферентам) уже вокруг Земли. Птолемей применил и некоторые другие новые геометрические приемы, позволявшие точнее описывать движение светил, и, в конечном счете, модель мироздания стала даже более сложной, чем модель Аристотеля с его 56 концентрическими сферами. Как заметил сам Птолемей: "легче, кажется, двигать сами планеты, чем постичь их сложные движения."

Отметим, что **разработанная Птолемеем система была заведомо чисто геометрическим построением и не претендовала на роль физической картины Мира.** Что представляют собой деференты, эпициклы и эпи-эпициклы, оставалось неясным, и поэтому вплоть до времен Коперника в астрономии господствовало своеобразное двоемыслие: большинство астрономов считало, что главными элементами реального мироздания по-прежнему оставались небесные сферы, подобные тем, что были описаны Аристотелем, в то время как для вычисления положения этих светил на земном небе удобнее пользоваться геометрической системой Птолемея. Эта система действительно очень хорошо предсказывала положения Солнца, Луны и планет на многие годы вперед.

Несмотря на то, что древнегреческие ученые в конечном счете пришли к ошибочной геоцентрической картине мироздания, нельзя не признать, что уровень науки в то время был удивительно высоким. Античные ученые по ряду вопросов добились поразительных результатов и оставили миру много блестящих идей и великолепных гипотез. Среди них особое место занимают: Пифагор, давший первую картину рационально организованной Вселенной и высказавший предположение о сферической форме Земли; Аристотель, убедительно доказавший, что Земля, действительно - шар; Эратосфен, правильно установивший его размеры; и, наконец, Аристарх, верно указавший место Земли в мировом пространстве.

О РОЛИ СОЛНЦА В СИСТЕМЕ ПТОЛЕМЕЯ

В геоцентрической модели мироздания Солнце концептуально рассматривалось как рядовое небесное тело. Однако, когда методом подбора для каждой планеты были установлены периоды их обращения по деферентам и эпициклам, оказалось, что движения планет загадочным образом согласуются с движением Солнца. Рассмотрим в чем это проявлялось.

Во-первых, периоды обращения Венеры и Меркурия по деферентам (точнее говоря, периоды, в течении которых центры соответствующих эпициклов совершали полный оборот по деференту) равнялись одному году, т.е. периоду обращения Солнца вокруг Земли. При этом постулировалось, что центры эпициклов Венеры и Меркурия всегда находятся на линии, соединяющей центры Земли и Солнца - только так в рамках модели деферентов и эпициклов можно было объяснить постоянное нахождение Меркурия и Венеры в околосолнечном секторе земного неба.

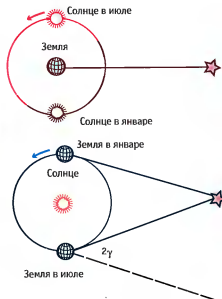
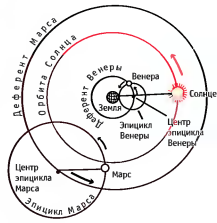
Во-вторых, ровно одному году равнялись и периоды обращения Марса, Юпитера и Сатурна по эпициклам. При этом совсем загадочной в модели Птолемея представлялась такая закономерность, как параллельность в каждый момент времени отрезков, соединяющих Марс, Юпитер и Сатурн с центрами их эпициклов, и отрезка, соединяющего центры Земли и Солнца.

Согласованность в движениях Солнца и планет в модели Птолемея обусловлена тем, что в реальности все планеты, в т.ч. и Земля, с которой производится наблюдение, вращаются вокруг Солнца. Более подробно этот вопрос рассмотрен в разделе 1.11. Здесь же отметим, что характер предполагаемого движения планет по эпициклам и деферентам однозначно указывал на особую роль Солнца в устройстве мироздания, хотя это никак не предусматривалось в идейной основе геоцентрической модели Птолемея и в рамках этой модели оставалось совершенно непонятным.

ПРИНЦИП ЭКСПЕРИМЕНТА ГИППАРХА

а) В геоцентрической модели направление на звезду, выбранную для наблюдения, будет неизменным, так как и звезда, и Земля остаются неподвижными.

б) В гелиоцентрической модели направление на звезду, выбранную для наблюдений, в течение года будет меняться, потому что Земля, с которой производится наблюдение, меняет свое положение в пространстве. Так как расстояния до звезд огромны, то угол 2γ (двойной параллактический угол) очень мал. Даже для самой ближайшей из звезд (α -Центавра) он составляет около полутора угловых секунд, в то время как точность самых лучших углоизмерительных приборов античного времени составляла лишь около десяти угловых минут.



ПОТЕРЯННОЕ ТЫСЯЧЕЛЕНИЕ

К сожалению, большая часть достижений древнегреческих ученых была утрачена в последующие эпохи. После завоевания Греции Римом начался закат античной науки. Римляне, хотя и смогли в какой-то мере освоить научное наследие греков, но сами не обогатили науку сколь-нибудь значительными идеями, а с падением Рима развитие научной мысли в Европе, по существу, остановилось. В образовавшихся на развалинах Римской империи феодальных государствах жизнь ушла в деревню - там не было место науке. Единственными очагами грамотности остались монастыри и церкви.

Новая религия - христианство - воинственно боролась со всем языческим, в том числе и с античной наукой. "Нам после Христа не нужна никакая тяга к знаниям, после евангелия нам не нужны никакие исследования", - утверждал христианский богослов Тертулиан из Карфагена (около 160 - около 220). Главным источником знаний об окружающем мире стало Священное писание. А в V в. н.э. христианская церковь объявила представления о сферической форме Земли "ересью": Землю снова стали считать плоской, накрытой небесным сводом. То, что это не согласовывалось с наблюдениями, просто игнорировалось: Истина была уже написана, и оставалось лишь верно истолковывать слова священных текстов. Науке же, в лучшем случае, отводилась роль толкователя Библии. Более того, пытались понять устройство мироздания считалось просто праздным вопросом, не достойным внимания серьезного человека, ведь после конца света, которого многие христиане ожидали в 1000 году, Господь Бог полностью переустроит Вселенную - так не все ли равно, как она устроена в настоящее время.

Но начало следующего тысячелетия не принесло ожидавшегося конца света - оно ознаменовалось крестовыми походами, предпринятыми в 1096-1270 гг. во имя освобождения "Гроба Господня". Эти грабительские по своей сути походы имели и довольно неожиданные последствия - они расшевелили европейскую интеллектуальную жизнь. Рыцари-крестоносцы, возвращаясь домой, привозили не только награбленное в далеких восточных странах богатство, но и совершенно незнакомые идеи и представления об устройстве мира, почерпнутые ими при общении с персами и арабами. Средневековой Европе, которая почти целое тысячелетие занималась межфеодальными расприями и толкованием Священного писания, было чему поучиться у своих восточных соседей.

Первоначально арабские завоеватели, веровавшие в Аллаха, также считали античные рукописи источником языческой "ереси". Отдавая в 642 году приказ сжечь Александрийскую библиотеку, халиф Омар указал своему военачальнику Амру: "Содержание этих книг либо согласуется с Кораном, либо нет. Если согласуется, - то Корана достаточно и без них, если нет - они зловерны. А значит, пусть они будут уничтожены." Но через некоторое время отношение к древним знаниям изменилось. Уже в VIII столетии Багдад - столица огромного арабского государства - превратился в крупнейший научный центр Средневекового мира. Здесь, в частности, была создана коллегия переводчиков, осуществлявшая переводы на арабский язык индийских, персидских, а главное - греческих текстов (в том числе работ Аристотеля и Птолемея). Постепенно культурные и научные центры стали возникать и в других районах арабского государства - в Персии, Испании и других областях. В магометанском мире продолжала развиваться астрономия и математика, здесь строились обсерватории и велись наблюдения за планетами.

Завоевательские походы крестоносцев в богатые восточные страны вызвали и значительное экономическое оживление в жизни феодальной Европы: в XII веке здесь стали расти многочисленные города. Важнейшими центрами торговли становятся средиземноморские города-республики Венеция и Генуя, богатевшие на снабжении и перевозках крестоносцев. В растущих городах стали возникать светские школы: Церковь постепенно утрачивала монопольную привилегию на образование. В XII веке были открыты два первых европейских университета - в Болонье и Париже, и хотя они находились под неусыпным контролем Церкви, их появление ознаменовало собой пробуждение Европы от многовековой интеллектуальной спячки. В этом же веке появляются и переводы на латинский язык работ древнегреческих ученых. Одним из первых известных переводчиков античных рукописей был Герхард из Кремоны (1114-1187). Он специально ездил в Толедо на поиски трудов Птолемея, а в 1175 году осуществил перевод "Альмагеста" с арабского на латинский язык.

Церковь далеко не сразу смирилась с распространением античных представлений об устройстве мироздания. Физические и астрономические взгляды Аристотеля и Птолемея были первоначально осуждены как еретические на Парижском (1209 г.) и Латеранском (1215 г.) церковных соборах. Но уже в середине XIII века христианскому философу и теологу Фоме Аквинскому (1225-1274) удалось добиться некоторого смягчения взаимоотношений между религией и наукой. Используя хитроумные рассуждения и умозаключения, ему удалось убедить Церковь в том, что геоцентрическая модель мироздания, описанная в работах Аристотеля и Птолемея, полностью соответствует безупречному Слову Божьему, ведь, в конечном счете, она сводилась к библейской идее неподвижной Земли в центре Вселенной с человеком на ней, как последним творением Создателя. И Церковь опрометчиво связала свое учение с античной геоцентрической картиной Мира:

Земля была недвижным темным шаром.
Вокруг нее вращались семь небес
Над ними небо звезд и Первосилы,
И все включал пресветлый Эмпирей.
(М. Волошин)

К концу XIII века Аристотель и Птолемей были официально допущены в университеты средневековой Европы.

К сожалению, из древнегреческой модели Вселенной было взято ложное (центральное положение Земли во Вселенной), и не взято истинное (представление о ее размерах). На основании косвенных указаний о соотношении суши и моря на Земле, найденных в Библии, было "установлено", что земной шар примерно в два раза меньше, чем он есть на самом деле. И только с началом эпохи Великих географических открытий, после кругосветного плавания Фернана Магеллана (1480-1521), правильные представления о размерах земного шара были восстановлены.

Пройдя сумрачной тропой Средневековья, европейская наука в начале XVI века ценой огромных усилий вернулась к тем же результатам, которые были достигнуты древнегреческими мыслителями: правильным представлениям о форме и размерах Земли при ошибочном понимании ее места в мировом пространстве.

ВОЗРОЖДЕНИЕ АСТРОНОМИИ И РАЗВИТИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ В ЕВРОПЕ

Интерес европейцев к астрономическим познаниям древних был обусловлен не только религиозно-философскими соображениями, но и чисто практическими нуждами. В XIII веке итальянские купцы начали плавать за Гибралтарский пролив - к устью Рейна. Все это требовало совершенствования способов навигации - необходимы были астрономические таблицы, которые позволяли бы точнее определять положение кораблей в море. Появившиеся к этому времени новые наблюдения положений светил показали большие расхождения с положениями, предсказываемыми на основе таблиц Птолемея. Это привело к необходимости составления более совершенных астрономических таблиц. Такие таблицы были рассчитаны в 1252 году по поручению короля Кастилии Альфонса X (1221-1284) и получили название "Альфонсинских таблиц". При этом в систему мироздания Птолемея, и без того чрезвычайно сложную, были внесены дополнительные усложнения. Ознакомившись с теоретической моделью, на основе которой были рассчитаны новые таблицы, Альфонс X заметил, что если бы Господь Бог посоветовался с ним перед тем, как создавать Вселенную, то он предложил бы Богу сотворить нечто более простое и логичное. Легенда утверждает, что эти слова стоили ему короны.

"Альфонсинскими таблицами" пользовались на протяжении двух столетий, но со временем выяснилось, что и они не вполне точны и нуждаются в модификации. В середине XV века к этой работе приступил австрийский астроном и математик Георг Пурбах (1423-1461), завершить же создание новых таблиц было суждено его другу и ученику немецкому астроному Иоганну Моллеру (1436-1476), более известному под латинизированным именем Региомонтан. При составлении таблиц Пурбах и Региомонтан первыми из европейцев использовали в вычислениях тригонометрические функции. Таблицы были опубликованы в 1474 году и они содержали эфемериды (координаты небесных светил) на 32 года вперед, т.е. до 1506 года. Таблицы Региомонтана сразу же получили самое широкое распространение, как среди астрономов и астрологов, так и среди мореплавателей. Издание этих таблиц во многом предопределило начало эпохи Великих географических открытий - теперь мореплаватели могли отправляться в самые далекие плавания, не боясь потерять ориентировку в бескрайних просторах океана.

ТАК СКОЛЬЖЕ ВЕЛИК ЗЕМНОЙ ШАР?

Тебе, Колумб, тебе венец!
Чертеж земной ты выполнивший смело
И довершивший наконец
Судеб неконченное дело."
Ф. Тютчев

Еще в конце XIV - начале XV века европейцы совершенно неправильно представляли размеры земного шара. Результаты Эратосфена были забыты, и считалось, что земной шар примерно в два раза меньше, чем он есть на самом деле. Такое представление основывалось на расчетах, выполненных в конце XIV века кардиналом Пьером д'Айи (1350-1420), канцлером Парижского университета. Найдя в Библии указания на то, что площадь поверхности моря составляет примерно седьмую часть поверхности суши, д'Айи по имевшимся картам вычислил площадь известной в то время суши, и, увеличив получившийся результат на одну седьмую часть, определил, как ему казалось, площадь полной поверхности земного шара. После этого не составляло труда вычислить и радиус Земли, который оказался примерно в два раза меньше истинного. Французскому кардиналу даже удалось вычислить ширину океана, отделяющего Европу от Китая - около четырех тысяч миль.

Спустя столетие, руководствуясь этими расчетами, Христофор Колумб (1451-1506) отправился в плавание через Атлантический океан в поисках западного пути в Индию. Если бы Колумб знал истинные размеры земного шара, он никогда бы не отважился на такое путешествие - без пополнения запасов пищи и воды корабли той эпохи просто не могли преодолеть такое расстояние. В каком-то смысле Америка была открыта "по ошибке".

Тридцать лет спустя испанская экспедиция под руководством Фернана Магеллана смогла совершить первое в истории кругосветное плавание. Истинное представление о размерах земного шара было восстановлено.

НИКОЛАЙ КОПЕРНИК ПРОТИВ КЛАВДИЯ ПТОЛЕМЕЯ

*"И средь строя мирового,
Плоский вид свой округля,
Вкруг светила золотого
В бездну двинулась Земля!"*
В. Бенедиктов

Геоцентрическая система мира Птолемея, подкрепленная авторитетом Церкви, безраздельно господствовала в науке вплоть до XVI столетия. Однако ее чрезвычайная громоздкость наряду с труднообъяснимой согласованностью движений планет с движением Солнца делали птолемееву модель нелогичной и малоубедительной в глазах наиболее передовых мыслителей Позднего Средневековья. Это вынуждало искать альтернативные объяснения наблюдаемого движения планет - одной из таких альтернатив было представление о гелиоцентрическом устройстве Вселенной, сформулированное еще в III веке до н.э. Аристархом Самосским. В XV-XVI веках эта идея была извлечена из забвения и довольно широко обсуждалась в европейских просвещенных кругах.

И все же, возрождение гелиоцентризма прежде всего связано с именем Николая Коперника (1473-1543), выдающегося польского астронома и математика. Николай Коперник был блестяще образованным человеком. Он учился в Краковском университете, а затем в течение 10 лет совершенствовал свое образование в университетах Италии. Коперник был доктором канонического права, обучался медицине, владел латинским и греческим языками, он был прекрасным математиком, но главным его увлечением была астрономия. В 1506 году Коперник вернулся из Италии на родину и начал скрупулезнейшую работу по созданию нового учения об устройстве Вселенной, основанного на принципах гелиоцентризма. В 1515 году он разослал узкому кругу ученых небольшую рукописанную работу, известную сейчас под названием "Малый Комментарий", в которой были сформулированы основные положения гелиоцентрической теории. Само учение в развернутом виде было изложено в знаменитой книге "Об обращении небесных сфер", завершённой Коперником в 1532 году. Однако еще долгое время после окончания работы над рукописью, опасаясь преследований со стороны Церкви, он не решался ее опубликовать. Лишь спустя десять лет - в 1542 году - великая книга была отпечатана в немецком городе Нюрнберге. Согласно легенде, Копернику принесли экземпляр его книги за несколько часов до смерти.

Каковы же основные положения учения Коперника?

Во-первых, на основании развитого им кинематического принципа относительности движений (не всякое кажущееся видимое движение действительно и не всякое действительное движение ощутимо и заметно) **Коперник обосновал возможность вращения Земли вокруг своей оси и возможность ее поступательного движения по орбите вокруг Солнца.**

Во-вторых, поставив Солнце в центр и заставив планеты и Землю обращаться вокруг него, он решил одну из главных проблем птолемеевой системы - загадочную согласованность движений планет с движением Солнца, особая роль которого во Вселенной находила свое максимальное возможное выражение - ведь оно провозглашалось центром мироздания! На основе гелиоцентрической модели Коперник создал новую теорию движения планет. Все годовые периодичности в планетных движениях он отнес к движению Земли, остальное - к движениям самих планет. Он показал, что гелиоцентрическая теория позволяет вычислять положения светил на небе на любой момент времени не менее точно, чем система Птолемея, то есть она правомерна и в практическом отношении.

В-третьих, Коперник, в отличие от Птолемея, поставил вопрос о расстояниях планет от Солнца и нашел ему блестящее математическое решение. Коперник создал подлинную модель Солнечной системы с точными соотношениями межпланетных расстояний, в то время как модель Птолемея была абстрактным математическим построением, в котором истинные расстояния до планет оставались совершенно неопределенными.

Несмотря на то, что Коперник был прав в главном - Земля обращается вокруг Солнца, а не наоборот - в его модели было и много ошибочного. Как и абсолютное большинство ученых того времени, Коперник безоговорочно верил, что движение небесных тел может совершаться лишь по идеальным окружностям. Он писал, что эта идея не подлежит обсуждению и что допустимо обсуждать лишь, что именно движется и по каким кругам. Так как в действительности планеты обращаются вокруг Солнца не по круговым, а по эллиптическим орбитам, то неизбежно возникали расхождения между положениями планет на небе, рассчитанными по теории Коперника и реально наблюдавшимися. Для устранения этих расхождений Коперник и его последователи вынуждены были вводить свои собственные эпициклы, а затем и эпициклы более высоких рангов. В конечном счете коперниканская модель, так же как и модель Птолемея, стала очень громоздкой и во многом потеряла свою привлекательность.

Однако, монопольное господство античной геоцентрической модели навсегда закончилось. Как модель Птолемея, так и модель Коперника в равной мере точно описывали движения планет и были одинаково хорошо обоснованы математически. Явным преимуществом модели Коперника было то, что

она легко объясняла загадочную согласованность движений планет с движением Солнца. В пользу же модели Птолемея свидетельствовало отсутствие паралактического смещения звезд в течение года, что было показано еще Гиппархом. Сам Коперник совершенно справедливо объяснял этот факт очень большой удаленностью звезд от Земли, но его довод тогда казался неубедительным: в середине XVI века люди еще не имели представления о том, сколь невообразимо далеко находятся звезды. Однако время самых кардинальных перемен в представлениях людей об окружающем их мире уже приближалось - и именно учение Коперника дало толчок тому взлету, который вскоре испытало естествознание.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСОВ ОРБИТ И ПЕРИОДОВ ОБРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТ

Рассмотрим на примере Меркурия, как Копернику удалось определить радиусы орбит и периодов обращения внутренних планет, т.е. планет, орбиты которых находятся внутри орбиты Земли. Угол наибольшего отклонения Меркурия от Солнца, если пренебречь эллиптичностью орбиты этой планеты и считать ее круговой, можно принять равным 23° . Зная этот угол, легко рассчитать радиус орбиты Меркурия, выраженный в астрономических единицах, т.е. в радиусах земной орбиты. Так как в момент наибольшего отклонения Меркурия от Солнца треугольник, образуемый этими двумя небесными телами и Землей, прямоугольный, то

$$SM:SE = \sin 23^\circ = 0,39.$$

В действительности из-за сильной эллиптичности орбиты Меркурия этот угол меняется от 18° до 28° , а расстояние от Меркурия до Солнца - от 0,31 до 0,47 астрономических единиц (а.е.). Напомним, что астрономической единицей среднее расстояние от Земли до Солнца. Сам Коперник объяснял такие вариации с помощью эпициклов.

Период видимых колебаний Меркурия относительно Солнца составляет с точки зрения земного наблюдателя 116 суток. Несложный анализ позволяет найти и истинный период обращения Меркурия вокруг Солнца. Возьмем в качестве исходного такое положение трех тел, при котором Меркурий находится в наиболее западном удалении от Солнца с точки зрения земного наблюдателя. После этого Меркурий совершит на земном небе полное колебание относительно Солнца и снова окажется в наиболее западном удалении через 116 суток. За это время Земля смещается по своей орбите на дуговое расстояние около 114° . Меркурий же за это время успевает пройти дуговое расстояние 474° - помимо смещения на 114° он успевает еще совершить вокруг Солнца один полный оборот, т.е. 360° . Таким образом, средняя дуговая скорость движения Меркурия по орбите составляет $474^\circ : 116 \text{ суток} = 4,09^\circ/\text{сутки}$, а период его обращения вокруг Солнца - $360^\circ : 4,09^\circ/\text{сутки} = 88 \text{ суток}$.

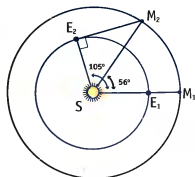
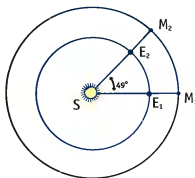
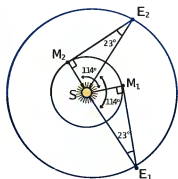
Теперь на примере Марса рассмотрим как Коперник определил периоды обращения и радиусы орбит внешних планет, т.е. планет, орбиты которых находятся вне пределов земной орбиты. Период обращения Марса вокруг Солнца можно определить, проведя анализ повторяемости его конфигураций, т.е. сходных взаимоположений Солнца, Земли и Марса. Известно, что так называемые противостояния Марса (т.е. положения когда Земля находится между Солнцем и Марсом на одной линии с ними) повторяются каждые 780 дней. За это время Земля успевает совершить вокруг Солнца два полных оборота и пройти еще дополнительно дуговое расстояние около 49° . Марс же за этот период помимо смещения на 49° успевает совершить только один полный оборот вокруг Солнца, т.е. проходит дуговое расстояние 409° . Средняя дуговая скорость движения Марса по своей орбите, таким образом, составляет $409^\circ : 780 \text{ суток} = 0,524^\circ/\text{сутки}$, а период его обращения вокруг Солнца - $360^\circ : 0,524^\circ/\text{сутки} = 687 \text{ суток}$.

Анализируя конфигурации Марса, Копернику удалось определить и радиус его орбиты. Известно, что так называемая квадратура Марса (т.е. такое взаимоположение Солнца, Земли и Марса, при котором эти три небесных тела образуют прямоугольный треугольник) наступает в среднем через 106 суток после противостояния. За это время Земля успевает пройти дуговое расстояние около 105° , а Марс всего лишь $0,524^\circ/\text{сутки} \cdot 106 \text{ суток} = 56^\circ$. Из этого следует, что угол с вершиной в центре Солнца между направлениями на Землю и на Марс составляет во время квадратуры $105^\circ - 56^\circ = 49^\circ$, а значит

$$SM:SE = 1:\cos 49^\circ = 1,52.$$

В действительности из-за сильной эллиптичности орбиты Марса угол ESM может составлять во время квадратуры от 43° до 54° , а расстояние от Марса до Солнца меняется от 1,38 до 1,67 а.е. Эти вариации Коперник также объяснял введением эпициклов.

Несмотря на то, что модель Коперника была осложнена эпициклами, ему удалось определить расстояния от планет до Солнца (в астрономических единицах) с удивительной точностью. Ошибка определения составила в случае Меркурия лишь 3% от принимаемого в настоящее время значения, а для остальных планет - даже менее 0,5%.



СОСТЯЗАНИЕ ТЕОРИЙ

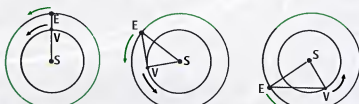
"Говорят, истина лежит между двумя
противоположными мнениями. Неверно!
Между ними лежит проблема..."
И. Гёте

Во второй половине XVI века выдающийся датский астроном Тихо Браге (1546-1601) поставил перед собой цель выяснить, какая из двух теорий, Птолемея или Коперника, является истинной. Для этого, по его мнению, необходимо было выполнить новые, более точные наблюдения движений светил. Этой проблеме ученый посвятил всю свою жизнь.

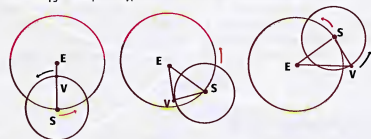
Браге - последний великий астроном-наблюдатель дотелескопической эпохи, сконструировал новые инструменты, позволявшие вести астрономические наблюдения с точностью, на порядок превышавшую точность измерений, производившихся до него. На небольшом острове Вэн недалеко от Копенгагена он построил обсерваторию Ураниборг (город Урании - музы астрономии), где более двух десятилетий проводил свои исключительно тщательные наблюдения.

После долгих лет работы Браге предложил свою собственную модель - своеобразный компромиссный вариант, между моделями Птолемея и Коперника - в которой в центре Вселенной находилась Земля, вокруг нее обращались Луна и Солнце, а вокруг Солнца, в свою очередь, обращались пять известных тогда планет. Модель Браге примерно с такой же точностью описывала наблюдаемые движения светил, как и модели Птолемея и Коперника. В то же время, она позволяла объяснить как согласованность движений планет с движением Солнца, так и отсутствие параллактического смещения звезд. Однако, сам Тихо Браге полагал, что этих аргументов еще недостаточно. Для выяснения какая из трех моделей (Птолемея, Коперника или его собственная) верна, он считал необходимым провести математическую обработку и анализ огромного массива высокоточных наблюдений, выполненных им в течение жизни. С этой целью Тихо Браге пригласил немецкого астронома и математика Иоганна Кеплера (1571-1630). Так впервые в истории науки в роли арбитра должна была выступить не умозрительная идея, не религиозная догма, а строгий математический анализ - в этом Тихо Браге поднял науку на качественно новый уровень.

Иоганн Кеплер начал работать с Браге в 1600 году, но совместная работа ученых продолжалась только один год. В 1601 году Тихо Браге умер, оставив молодому помощнику богатейшие материалы своих наблюдений и задачу выяснить, какая из трех моделей верна - Птолемея, Коперника или самого Браге. Началась кропотливейшая работа. Это состязание трех теорий длилось восемь лет...



а) Система Коперника: период обращения Венеры вокруг Солнца - 0,62 года; Земли вокруг Солнца - 1 год.



б) Система Браге: период обращения Венеры вокруг Солнца - 0,62 года; Солнца вокруг Земли - 1 год.



в) Система Птолемея: период обращения Венеры по деференту - 1 год, по эпициклу - 0,62 года; период обращения Солнца вокруг Земли - 1 год.

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ТРЕХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОПИСАНИИ ДВИЖЕНИЯ СВЕТИЛ НА ЗЕМНОМ НЕБЕ

1. Движение внутренних планет (на примере Венеры)

а) Венера совершает один оборот вокруг Солнца быстрее, чем Земля, поэтому взаимное положение Венеры (V), Земли (E) и Солнца (S) все время меняется. На схемах, иллюстрирующих гелиоцентрическую систему Коперника, показано расположение этих двух планет относительно неподвижного Солнца во время их наибольшего сближения (нижнее соединение Венеры), а также через два месяца и через четыре месяца.

б) В модели Браге Венера, как и в модели Коперника, обращается вокруг Солнца, но при этом само Солнце обращается вокруг Земли, которая остается неподвижной. Как видно из схем, иллюстрирующих гео-гелиоцентрическую модель Браге,

взаимное расположение Венеры, Земли и Солнца в любой момент времени будет таким же, как и в модели Коперника. Для земного наблюдателя в случае замены одной модели на другую характер видимого движения Венеры на фоне звезд никак не изменится.

в) От модели Браге легко перейти к модели Птолемея. Движение Венеры в модели Браге можно представить как результат движения по эпициклу, совпадающему с орбитой Венеры вокруг Солнца, и движения по деференту, совпадающему с орбитой Солнца вокруг Земли. Если оставить без изменения орбиту Солнца, но при этом пропорционально уменьшить и деферент, и эпицикл Венеры, то земной наблюдатель этой подмены не заметит, так как направление на Венеру и на Солнце не изменится. Очевидно, что центр эпицикла Венеры (точка O) будет всегда находиться на линии SE, соединяющей центры Солнца и Земли.

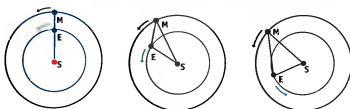
2. Движение внешних планет (на примере Марса)

г) Марс совершает один оборот вокруг Солнца дольше, чем Земля, поэтому взаимное положение Марса (M), Земли (E) и Солнца (S) все время меняется. На схемах, иллюстрирующих гелиоцентрическую модель Коперника, показано расположение этих двух планет относительно неподвижного Солнца во время их наибольшего сближения (противостояние Марса), а также через два месяца и через четыре месяца.

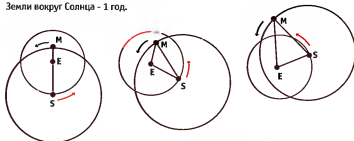
д) В модели Браге Марс, как и в гелиоцентрической модели, обращается вокруг Солнца, а само Солнце обращается вокруг остающейся неподвижной Земли. Взаимное расположение Марса, Земли и Солнца в модели Браге в любой момент времени будет таким же, как и в модели Коперника, поэтому характер видимого движения Марса на фоне звезд для земного наблюдателя не изменится, если заменить одну модель на другую.

е) От системы Браге можно перейти к системе Птолемея. Если треугольник ESM, в вершинах которого находится Земля, неподвижно покоящаяся в центре мироздания, Солнце, обращающееся вокруг Земли, и Марс, обращающийся вокруг Солнца, достроить до параллелограмма ESMO, то движение Марса можно формально представить как равномерное движение этой планеты по круговой орбите вокруг некой точки O, которая равномерно движется по круговой орбите вокруг неподвижной Земли. А это, в сущности, ни что иное как движение Марса по эпициклу, центр которого (точка O) движется по деференту. Очевидно, что отрезок OM, соединяющий центр эпицикла Марса с центром самой планеты, в любой момент времени параллелен отрезку ES, соединяющему центры Земли и Солнца, а период обращения Марса по эпициклу равен периоду обращения Солнца вокруг Земли, т.е. одному году. Этим объясняется идеальная согласованность движения внешних планет по своим эпициклам с движением Солнца вокруг Земли, сама по себе не вытекающая из концептуальной основы модели Птолемея. Размеры эпицикла и деферента можно произвольно, но пропорционально уменьшить или увеличить, причем такое преобразование не будет замечено земным наблюдателем, так как направление линии, соединяющей Землю и Марс, не изменится.

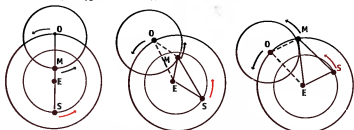
Таким образом, все три модели - Птолемея, Коперника и Браге, были принципиально взаимозаменяемы в геометрическом отношении, поэтому попытки доказать преимущества одной из них на основе наблюдения видимого движения планет заведомо не могли привести к успеху. Истину нужно было искать в неустраиваемых невзках этих моделей с реальной картиной движения планет, причина которых заключалась в том, что планеты имеют не круговые, а эллиптические орбиты. Это удалось понять Иоганну Кеплеру.



г) Система Коперника: период обращения Марса вокруг Солнца - 1,88 года; Земли вокруг Солнца - 1 год.



д) Система Браге: период обращения Марса вокруг Солнца - 1,88 года; Солнца вокруг Земли - 1 год.



е) Система Птолемея: период обращения Марса по деференту - 1,88 года, по эпициклу - 1 год; период обращения Солнца вокруг Земли - 1 год.

ИЗ ТРЕХ ТЕОРИЙ ПОБЕЖДАЕТ... ЧЕТВЕРТАЯ

Когда Иоганн Кеплер приступил к обработке результатов астрономических наблюдений, выполненных Тихо Браге, он, как и все астрономы того времени, был уверен, что движение небесных тел может осуществляться только по идеальным окружностям. Кеплер был убежденным коперниканцем, поэтому свою задачу он видел не столько в том, чтобы установить, что вокруг чего движется, сколько в том, чтобы определить параметры соответствующих круговых орбит: точные размеры, ориентацию плоскостей в мировом пространстве, величины смещений центров окружностей относительно Солнца, а также направления этих смещений.

Первоначально Кеплер сосредоточил свои усилия на изучении движения Марса. Он выполнил огромный объем вычислительной работы, рассчитав методом последовательных приближений более 70 вариантов марсианской орбиты, которые раз от раза все лучше и лучше соответствовали наблюдениям Тихо Браге. Тем не менее, некоторое расхождение между расчетными и зарегистрированными в ходе наблюдений координатами Марса устранить не удавалось. В самом лучшем варианте оно составляло всего лишь восемь угловых минут, но как пророчески заметил сам Кеплер: "Эти восемь минут, которыми непозволительно пренебрегать, дадут нам средство преобразовать астрономию." Вскоре Кеплер догадался, что причина этого расхождения кроется в том, что форма марсианской орбиты не соответствует идеальной окружности. Нужно было найти какой-то геометрический способ определения точной формы орбиты Марса - и Кеплеру это удалось!

Опираясь на результаты исключительно тщательных наблюдений, выполненных Тихо Браге, с помощью ряда остроумных геометрических построений Кеплер вначале определил форму орбиты Земли, а затем Марса и всех остальных известных в то время планет. Оказалось, что планеты движутся вокруг Солнца не по окружностям или их комбинациям, а по орбитам, имеющим форму эллипса. После долгих лет упорной работы немецкому ученому удалось удивительно точно описать движения планет на небе и сформулировать три знаменитых закона, снискавших ему имя "законодателя неба":

Первый закон: каждая планета движется по орбите, имеющей форму эллипса, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Второй закон: планеты движутся по своим орбитам неравномерно, причем линия, соединяющая Солнце и планету, (радиус-вектор) описывает за равные промежутки времени равные площади.

Третий закон: квадраты периодов обращения планет относятся между собой как кубы больших полуосей их орбит.

Кеплер начинал свою работу с глубоким убеждением, в том, что в основе устройства мироздания лежит известный со времен Пифагора принцип гармонии и совершенства мира. И он действительно нашел эту гармонию, выраженную в виде простых математических законов, трех великих законов, которые сейчас называются "законами Кеплера". Как заметил сам Кеплер: "Я выяснил, что все небесные движения, как в их целом, так и во всех отдельных случаях, проникнуты общей гармонией, правда не той, которую я предполагал, но еще более совершенной".

...И в этот миг мне жизнь явилась полной,
И мнилось - хор светил и волн морских,
Ветров и сфер мне музыкой органной
Ворвался в уши, загремел, как прежде,
В иные незапамятные дни.

(Вл. Ходасевич)

Вклад Кеплера в науку невозможно переоценить - спустя несколько десятилетий открытые им законы планетных движений позволили величайшему английскому физiku Исааку Ньютону (1643-1727) вывести Закон Всемирного Тяготения. То, что законы планетных движений должны привести к новому пониманию физического устройства мира, осознавал и сам Кеплер. Еще задолго до открытия третьего закона он обратил внимание, что с удалением от Солнца периоды обращения планет увеличиваются быстрее, чем радиусы их орбит, т.е. линейная скорость движения планет по их орбитам уменьшается. Это натолкнуло его на мысль, что сила, управляющая движением планет, исходит от центрального тела системы, т.е. от Солнца, а ее действие убывает с расстоянием. И хотя Кеплеру не удалось разобраться в физической природе этой силы (он предполагал, что Солнце и планеты испытывают магнитные взаимодействия), но именно начиная с работ Кеплера астрономия из "небесной геометрии" стала превращаться в "небесную физику".

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМНОЙ ОРБИТЫ

Прежде всего Кеплеру необходимо было определить точную форму и положение в пространстве земной орбиты — ведь в любом случае, чтобы определить форму орбит других планет, нужно как можно точнее знать на любой момент времени положение в мировом пространстве того объекта, с которого ведется наблюдения, т.е. самой Земли. Если бы в Солнечной системе было два неподвижных объекта, то задача определения положения Земли в мировом пространстве в любой момент времени не составляла бы особого труда — подобную задачу решает любой штурман, легко определяя положение корабля в море, если в поле зрения находится два маяка. Однако в Солнечной системе есть только один объект, который можно условно считать неподвижным — Солнце, второе же неподвижного "маяка" в окружающем нас пространстве нет.

В этой казалось бы безвыходной ситуации Кеплеру удалось найти гениально простое решение: зная продолжительность марсианского "года" (687 суток), он догадался, что по прошествии каждого такого периода Марс, совершив один полный оборот вокруг Солнца, возвращается в ту же самую точку мирового пространства. Таким образом, проблема второго неподвижного "маяка" была решена. Если в качестве исходного положения Солнца (S), Земли (E_0) и Марса (M) взять одно из противостояний этой планеты, то через каждые 687 суток Солнце и Марс будут занимать то же самое взаимное положение в мировом пространстве, в то время как Земля каждый раз будет находиться в какой-либо новой точке — E_1, E_2, E_3 и т.д. (напомним, что противостоянием Марса называется такая конфигурация, при которой Солнце, Земля и Марс находятся на одной линии, при этом Земля располагается посередине). По таблицам движения Солнца и Марса, составленным ранее Тихо Браге, Кеплер с точностью до $1'$ определил углы E_0SE_1 и SE_1M, E_0SE_2 и SE_2M, E_0SE_3 и SE_3M , и т.д. После этого из треугольников ME_1S, MSE_2, MSE_3 и т.д. уже было нетрудно найти расстояния SE_1, SE_2, SE_3 и т.д., выраженные в долях расстояния SM, а затем, нанеся на чертеж точки, соответствующие положениям Земли в разные моменты времени, Кеплер соединил их кривой, отображающей реальную путь нашей планеты вокруг Солнца. Построенная Кеплером орбита Земли по форме практически совпадала с окружностью, но при этом Солнце было несколько смещено относительно ее центра (на $1/59$ радиуса орбиты).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРБИТЫ МАРСА И ОРБИТ ДРУГИХ ПЛАНЕТ

Установив форму и положение земной орбиты, Кеплер приступил к определению орбиты Марса. Как уже отмечалось выше, если в качестве исходного положения Солнца (S), Марса (M_1) и Земли (E_1) взять одно из противостояний этой планеты, то через один марсианский "год" (687 суток) Солнце и Марс будут находиться в том же самом взаимном положении, тогда как Земля окажется в точке E_1 . Углы E_1SE_1' и $SE_1'M_1$ Кеплеру были известны из таблиц Браге, а расстояние SE_1 он мог легко рассчитать на основании им же определенной орбиты Земли. После этого из треугольника E_1SM_1 было нетрудно найти и расстояние SM_1 .

Противостояния Марса повторяются каждые 780 дней и поэтому при каждом новом противостоянии Земля и Марс будут находиться в других точках своих орбит, чем при предыдущем. Многократно повторив вышеописанную операцию для разных противостояний и построив соответствующие треугольники E_2SM_2, E_3SM_3 и т.д., Кеплер смог определить расстояния от Солнца до Марса (SM_2, SM_3 и т.д.) для различных моментов времени, после чего уже не составляло большого труда вычертить орбиту Марса.

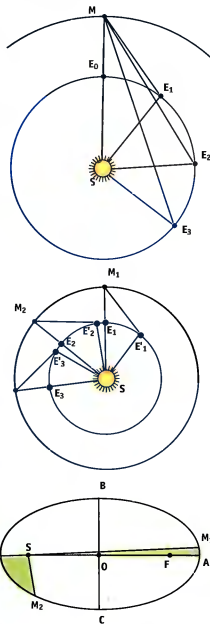
Найденная Кеплером орбита Марса оказалась весьма эксцентричной — Солнце смещено относительно ее центра примерно на $1/11$ ее радиуса. Кроме того он обнаружил, что марсианская орбита хотя и незначительно, но вполне отчетливо отличается от окружности: длина ее большой оси примерно на одну двухсотую превосходит длину малой оси. Ошибки быть не могло — орбита Марса была построена на основании 40 точек, вычисленных самыми тщательным образом, и Кеплер поставил перед собой задачу найти описывающее ее математическое выражение. После нескольких лет поисков он пришел к выводу, что орбита Марса имеет форму эллипса, в одном из фокусов которого находится Солнце. Позднее подобные же построения Кеплер выполнил и для орбит других известных тогда планет и пришел к аналогичным выводам.

СХЕМА, ПОЯСНЯЮЩАЯ ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

S — Солнце, находящееся в одном из фокусов эллипса; O и F — геометрический центр и второй фокус эллипса, в которых нет никаких физических объектов; A — наиболее удаленная точка планетной орбиты (афелий); P — наименее удаленная точка орбиты (перигелий); AP — большая ось; BC — малая ось.

На схеме для наглядности показан весьма вытянутый эллипс. В действительности же эллиптические орбиты девяти главных планет Солнечной системы мало отличаются от окружностей. Даже у наиболее вытянутой из планетных орбит — орбиты Плутона, малая ось лишь на одну тридцатую своей длины меньше, чем большая.

За равные промежутки времени t_1 и t_2 планета проходит по своей орбите разные расстояния AM_1 и PM_2 , но при этом площади секторов ASM_1 и PSM_2 будут равны.



СИЛА, ЧТО
ПРАВИТ МИРАМИ

*Где блещет звезда за звездой,
Несутся стезей неизменной
Планеты во мгле мировой
Им прочно сомкнула орбиты
Работа таинственных сил..."*
Н. Морозов

Законь планетных движений, открытые Кеплером, казалось бы, служили неоспоримым доказательством гелиоцентрического устройства мироздания. Однако современники Кеплера признали открытые им законы далеко не сразу и даже усматривали в них какую-то мистику, противоречившую здравому смыслу. Действительно, модель Кеплера, в которой планеты двигались вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, коренным образом расходилась с господствовавшей почти два тысячелетия концепцией естественных движений, которая "предписывала" планетам двигаться только по идеальным окружностям, при этом ничего не предлагалось взамен.

Но примерно в те же годы происходит еще одно событие - в итальянском городе Пиза известный физик и механик Галилео Галилей (1564-1642) воспользовался недавно изобретенной "зрительной трубой" для изучения звездного неба. Астрономические открытия, которые удалось сделать Галилею, стали новыми подтверждениями гелиоцентрической модели. Заметим, что в начале XVII века представления о небесных телах, как таковых, оставались, по существу, такими же, как и в античную эпоху. Достоверно можно было утверждать лишь, что Солнце - это источник света и тепла, а Луна - это шар, который светит отраженным солнечным светом. Кроме того были известны размеры Луны, а также, хотя и сильно заниженные, размеры Солнца. О планетах же и звездах, как таковых, не было известно ничего кроме того, что они существуют.

Конечно, Галилей не был первым, кто посмотрел в телескопическую трубу на небо, но он был первым, кто сумел увидеть... Он увидел, что поверхность Луны испещрена кратерами, что на ней есть горы и впадины: Луна оказалась отнюдь не таким "идеальным" космическим телом, как думали со времен Пифагора и Аристотеля, напротив, она, во-многом, напоминала нашу Землю. Не "идеальным" оказалось и Солнце - Галилей одним из первых обнаружил, что на нем появляются и исчезают пятна. Более того, пятна медленно смещались по наблюдаемому солнечному диску - из этого следовало, что Солнце вращается вокруг своей оси.

Галилей увидел, что звезд на самом деле много больше, чем видно невооруженным глазом, и что планеты выглядят при рассмотрении в телескоп в виде четко различимых дисков, в то время как звезды, даже самые яркие, остаются лишь светящимися точками. Первые телескопы не позволяли разглядеть на поверхности планет какие-либо детали, но сама их форма позволяла провести еще одну аналогию между планетами и шарообразной Землей.

Галилей открыл и четыре самых крупных спутника Юпитера (Ио, Европа, Ганимед, Каллисто), которые обычно называют "галилеевыми лунами". Это открытие однозначно показывало, что Земля, в любом случае, не единственное тело во Вселенной, вокруг которого вращались бы другие тела.

"Неидеальность" небесных тел, их намекающаяся схожесть с нашей Землей, наличие спутников у Юпитера - все это косвенным образом свидетельствовало против птолемеовой и в пользу коперниканской системы мира. Однако решающим аргументом явилось наблюдение Галилеем фаз Венеры, характер смены которых никак нельзя было объяснить в рамках античной геоцентрической модели. Галилей стал убежденным приверженцем учения Коперника, и именно Галилею принадлежит первооткрывательная роль в популяризации коперниканского учения. Несмотря на то, что самого Галилея суд инквизиции в 1633 году вынудил формально отречься от своих убеждений, идеи гелиоцентризма стали получать все более и более широкое признание: слишком бесспорными были факты.

Работы Кеплера и Галилея поставили точку в многовековом поиске ответа на вопрос "как движутся планеты?". Их работы ознаменовали начало нового этапа в развитии теоретической астрономии: вопрос "КАК?" в отношении движения планет сменился вопросом "ПОЧЕМУ?". Первый шаг в правильном направлении сделал сам Галилео Галилей. Он сформулировал концепцию инерции, суть которой сводится к тому, что если к телу не приложена никакая внешняя сила, то оно сохраняет состояние покоя или состояние равномерного движения.

Правда, сам Галилей допускал одну очень серьезную ошибку, считая инерционным равномерное движение по окружности. Иными словами, получалось, что планеты двигались вокруг Солнца по инерции. Галилея поправил французский ученый Рене Декарт (1596-1650), отметивший, что инерционным является только прямолинейное равномерное движение. Декарт догадался, что движение планет представляет собой сочетание прямолинейного движения по инерции и постоянного падения на Солнце - падения, в результате которого планета, совершив оборот, возвращается в исходную

точку, и так еще и еще, бесчисленное количество раз. Но правдоподобно объяснить почему планеты "падают" на Солнце Декарт не сумел.

Это сделал английский физик Роберт Гук (1635-1703). Именно ему принадлежит идея о том, что движением планет управляет сила тяготения. Гук даже считал, что эта сила прямо пропорциональна массам взаимодействующих тел и каким-то образом уменьшается с увеличением расстояния между ними, но долгое время не мог выразить эту зависимость математически.

Первым это удалось сделать Исааку Ньютону, который обобщил идеи своих предшественников и, проанализировав законы планетных движений Кеплера, вывел Закон Всемирного Тяготения - математическую формулу той силы, что правит мирами, оказавшейся прямо пропорциональной массе взаимодействующих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Отныне движение планет по эллиптическим орбитам вокруг Солнца получало простое, понятное и математически строго выраженное объяснение.

Интересно, что даже после открытия Закона Всемирного Тяготения гелиоцентрическая картина мироздания утверждалась в широком общественном сознании очень медленно, и еще в начале XVIII века она была признана, по-существу, только на родине Ньютона в Англии. Лишь в тридцатые годы XVIII века, благодаря Вольтеру, гелиоцентрические идеи получили широкое распространение во Франции, спустя еще одно десятилетие - в странах немецкого языка, а потом и во всей Европе.

НАБЛЮДЕНИЯ ГАЛИЛЕЕМ ФАЗ ВЕНЕРЫ

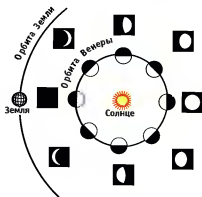
а) В геоцентрической модели Клавдия Птолемея Венера всегда находится между Землей и Солнцем, и поэтому обращена к Земле своей затененной стороной. Таким образом, с Земли должен был бы наблюдаться только узкий серп Венеры. В модели Птолемея Венера ни в каком из своих положений не могла бы наблюдаться в виде полумесяца и более полных фаз.

б) В гелиоцентрической модели Венера может находиться как перед Солнцем, так и позади него, а значит может наблюдаться с Земли в любой фазе, что и было обнаружено Галилеем.



УЧЕНИЕ О БЕСКОНЕЧНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Со времен Пифагора считалось, что Вселенная конечна и ограничена сферой звезд, вращающейся вокруг Земли. Так думали Платон и Аристотель, Гиппарх и Птолемей, и мало кто сомневался в этом вплоть до коперниканской эпохи. Сам Коперник, правда, также считал, что Вселенная ограничена звездной сферой, но неподвижной. По-существу же, такая звездная сфера в коперниканской модели уже не требовалась. Само представление о том, что звезды находятся на поверхности огромной вращающейся сферы, возникло в свое время потому, что оно позволяло объяснить наблюдаемое суточное обращение звездного неба. В рамках же гелиоцентрической модели это кажущееся обращение объясняется вращением земного шара. Поскольку звезды в модели Коперника уже не неслись с бешеной скоростью вокруг Земли, а оказались неподвижными, то вовсе не обязательным было, чтобы они были закреплены на поверхности некой гипотетической сферы. Напротив, логичнее было предположить, что они рассеяны на разных расстояниях от Земли в мировом пространстве, а их кажущаяся равноудаленность объясняется лишь несовершенством нашего зрения. Эту идею впервые высказал в 70-х годах XVI века английский ученый Томас Диггерс (год рожд. неизв.-1595), позднее она получила свое блистательное развитие в работах выдающегося итальянского мыслителя Джордано Бруно (1548-1600), который учил, что Вселенная бесконечна, что у нее не может быть центра, а огромное Солнце - всего лишь одна из звезд.



Свод - долгой! Весь звездный клир
Прянул рассыпью в эфир...

(В. Бенедиктов)

Бруно писал: "...Существуют бесчисленные солнца, бесчисленные земли, которые кружатся вокруг своих солнц, подобно тому, как наши семь планет кружатся вокруг нашего Солнца... На этих мирах обитают живые существа". Он утверждал также, что и Солнце, и звезды вращаются вокруг своих осей, а в Солнечной системе, кроме известных планет, существуют и другие, пока не открытые.

...Мир распахнулся в центильоны раз.
Соотношения дико изменились,
Разверзлись бездны звездных Галактей
И только Богу не хватило места.

(М. Волошин)

В 1592 году служителям римской церкви удалось схватить великого мыслителя. Более семи лет его продержали в застенках, пока Судом Святейшей Инквизиции он не был признан неисправимым еретиком. 17 февраля 1600 года в Риме на площади Цветов Джордано Бруно был живо сожжен на костре.