

Открытие вселенной

Вступление

Из всех картин природы, развертывающихся перед человеческими глазами, самая величественная - картина звездного неба. С древнейших времен эта картина будила человеческое воображение, вызывая к жизни то могучее интеллектуальное течение, которое мы теперь называем наукой. О том, как человек проникал в тайну мироздания, в тайну движения небесных тел - наш рассказ.

Первые воззрения древних на мироздание основывались на непосредственно видимом. Для древних египтян и вавилонян Вселенная отождествлялась с Землей, которая представлялась громадным диском, плавающим по беспредельному океану. Небо они представляли опрокинутой чашей, опирающейся на плоскость, с вкрапленными во внутреннюю поверхность чаши звездами.

Упорядоченные конфигурации звезд называются созвездиями. Созвездия почти не меняются день ото дня, год от года и даже век от века. За ночь звезды поворачиваются относительно некоторой неподвижной точки, находящейся ныне вблизи Полярной звезды, будто чаша вращается как единое целое вокруг оси, проходящей через эту точку и глаз наблюдателя. Тщательные наблюдения показывают, что чаша совершает один оборот за 23 часа 56 минут.

Из-за вращения чаши некоторые звезды уходят за горизонт на западе, тогда как другие восходят на востоке. Это наблюдение наводит на мысль, что чаша представляет собой часть полной сферы, причем звезды располагаются на ее поверхности. Эта сфера называется небесной сферой или сферой неподвижных звезд. Две неподвижные точки, в которых небесная сфера пересекает ось вращения, называются полюсами мира. Воображаемая окружность на небесной сфере, точки которой равноудалены от обоих полюсов, называется небесным экватором.

Шарообразная Земля

Итак, наблюдения за суточным движением звезд привели древних астрономов к представлению о небесной сфере. Сделать вывод о том, что Земля имеет форму шара, оказалось трудней. Мысль о шарообразности Земли высказали древнегреческие ученые в начале V века до новой эры. К этой мысли они пришли на основании рассказов путешественников, которые заметили, что высота северного полюса мира возрастает по мере перемещения к северу и уменьшается при движении в южном направлении (рис. 1).

Первое настоящее измерение радиуса Земли было проведено египетским греком Эратосфеном (276 - 195 гг. до н. э.), уроженцем города Сиена (ныне Асуан) на юге Египта. Еще будучи подростком он заметил, что в Сиене ежегодно 21 июня в полдень Солнце находится точно над головой, и вертикальные стволы деревьев не отбрасывают теней. Позже в Александрии, расположенной на севере Египта, он обнаружил, что тени здесь в указанное время не исчезают, и в гениальном озарении понял, что причина этому - кривизна поверхности Земли. Александрия находится на 480 миль севернее Сиены, и когда Солнце в зените над Сиеной, над Александрией оно должно располагаться на некотором угловом расстоянии от зенита. Этот угол можно измерить по тени вертикального ствола дерева или колонны в Александрии (рис. 2). Угол определяется по высоте дерева или колонны и измеренной длине тени в Александрии в момент, когда в Сиене тень не отбрасывается (полдень 21 июня). Углы a и b равны как внутренние накрест лежащие углы при пересечении параллельных прямых. Измеренное значение составляло $a=7^\circ$, следовательно, угол в 71 с вершиной в центре Земли стягивался на поверхности дугой в 480 миль. Поскольку в окружности 360% длина окружности Земли по меридиану должна составлять 24 000 миль, а ее радиус - около 4000 миль (точные современные значения составляют 24 989 миль для длины окружности и 3950 миль для радиуса).

Идея шарообразной Земли позволила упростить геометрию мироздания. Естественно было считать, что земная и небесная сферы концентричны, а ось вращения небесной сферы служит продолжением полярной оси Земли.

Блуждающие звезды

Кроме неподвижных звезд, на небесной сфере можно наблюдать тела, положение которых меняется день ото дня. Такие тела называются планетами. В переводе с древнегреческого планета - «блуждающая звезда». С древнейших времен было известно семь таких «блуждающих звезд»: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн.

Чтобы понять, как движется Солнце по небесной сфере, вспомним, что сутки (24 часа) - это время между двумя его последовательными кульминациями. Тот факт, что небесная сфера совершает полный оборот вокруг оси за время чуть меньшее суток (23 часа 56 минут), означает, что Солнце перемещается по небесной сфере в направлении, противоположном вращению небесной сферы. Поэтому восход Солнца ежедневно запаздывает по сравнению с восходом звезд на 4 минуты. Отмечая ежедневное положение Солнца относительно звезд в момент восхода, можно проследить его траекторию на небесной сфере. Оказывается, что эта траектория представляет собой еще одну окружность, центр которой совпадает с центром Земли, а плоскость наклонена под углом $23^{\circ}30'$ к плоскости небесного экватора. По этой окружности, называемой эклипкой, Солнце движется в направлении с запада на восток с почти постоянной угловой скоростью, равной примерно 1° в сутки, совершая полный оборот за 365 дней и примерно 6 часов.

Луна также непрерывно перемещается относительно звезд. Ее траектория представляет собой окружность, в центре которой находится Земля. Плоскость этой окружности наклонена к эклиптике под углом 5° . Луна почти равномерно движется вдоль своей траектории в том же направлении, что и Солнце, т. е. обратно направлению суточного вращения небесной сферы, совершая полный оборот за время немногим более 27 суток. Подобно движению Солнца, движение Луны приводит к тому, что ее восход ежедневно запаздывает относительно восхода звезд, но уже не на четыре минуты, как у Солнца, а почти на целый час.

Пять остальных «блуждающих звезд» также движутся по небесной сфере, однако их перемещение гораздо сложнее, чем движение Солнца и Луны (рис. 4). Древние астрономы разделили эти пять планет по своим видимым движениям на две группы: нижние (Меркурий, Венера) и верхние (Марс, Юпитер и Сатурн). Движения нижних и верхних планет по сфере неподвижных звезд существенно различаются.

Меркурий и Венера находятся на небе, не удаляясь слишком далеко от Солнца (28° для Меркурия и 47° для Венеры). Наибольшее угловое удаление планеты от Солнца к востоку называется ее наибольшей восточной элонгацией, к западу - наибольшей западной элонгацией. При наибольшей восточной элонгации планета видна на западе в лучах вечерней зари вскоре после захода Солнца и заходит через некоторое время после него. Затем, попятным движением (т. е. с востока на запад), сначала медленно, а потом все быстрее, планета начинает приближаться к Солнцу, скрывается в его лучах и перестает быть видимой. В это время наступает нижнее соединение планеты с Солнцем. Спустя некоторое время после нижнего соединения планета вновь становится видимой, но теперь уже на востоке, незадолго перед восходом Солнца. В это время, продолжая попятное движение, она постепенно удаляется от Солнца. Замедлив скорость попятного

движения и достигнув наибольшей западной элонгации, планета останавливается и меняет направление своего движения на прямое (с запада на восток). Вначале она движется медленно, затем ее движение становится более быстрым. Удаление ее от Солнца уменьшается и, наконец, она скрывается в утренних лучах Солнца - наступает ее верхнее соединение с Солнцем. Спустя некоторое время она снова видна на западе в лучах вечерней зари. Продолжая прямое движение, планета замедляет свою скорость. Достигнув предельного восточного удаления, т. е. наибольшей восточной элонгации, планета останавливается, меняет направление своего движения на попятное, и все повторяется сначала. Период одного такого «колебания» составляет для Меркурия 88 суток, а для Венеры - 225 суток.

Видимые движения верхних планет происходят иначе. Когда верхняя планета видна после захода Солнца в западной части неба, она перемещается среди звезд прямым движением, т. е. с запада на восток, как и Солнце. Но скорость ее движения меньше, чем у Солнца, которое постепенно нагоняет планету, и она на некоторое время перестает быть видимой, т. е. восходит и заходит почти одновременно с Солнцем. Затем, когда Солнце обгонит планету, она становится видимой на востоке перед восходом Солнца. Скорость ее прямого движения постепенно уменьшается, планета останавливается и затем начинает перемещаться среди звезд попятным движением, с востока на запад. Через некоторое время планета снова останавливается, меняет направление своего движения на прямое, снова ее с запада нагоняет Солнце и она опять перестает быть видимой - и все явления повторяются в том же порядке.

Первые модели мира

Эвдокс. Первоначальная модель мироздания была очень проста. Длительные наблюдения привели древнегреческих ученых к убеждению, что наряду с Землей шарообразными являются и другие планеты. Более того, с течением времени для двух небесных светил, которые казались самыми большими - Солнца и Луны - было получено так много данных, что их стали считать телами, до известной степени родственными Земле. Не было никаких причин считать другие «блуждающие звезды» непохожими на Солнце и Луну. Стало быть, все они более-менее подобны Земле, а различия в их наблюдаемых размерах объясняются различным их удалением от Земли.

Но ведь эти громадные тела, совершающие вечный полет над нашими головами, должны быть достаточно прочно укреплены. Небесная сфера для этого не подходила: планеты движутся независимо от нее. Поэтому греки вообразили семь новых сфер, по одной для каждой планеты. Эти сферы меньше, чем сфера неподвижных звезд, и концентричны с

ней. Все семь планетных сфер участвуют в движении сферы неподвижных звезд, обращающейся раз в сутки и, кроме того, совершают еще и независимые вращения.

В дальнейшем из этой модели Пифагор развил идею о музыке сфер: каждая из семи планетных сфер сравнивалась с одним из тонов октавы; восьмой тон представляла сфера неподвижных звезд. Пифагор считал, что колоссальные полые шары, к которым прикреплены такие большие тела, как Солнце и Луна (да и другие планеты), при вращении должны издавать звук, как вращающиеся колеса какого-нибудь механического аппарата. Получающиеся при этом различные тона соединяются в чудесную мелодию, могучие звуки которой наполняют всю Вселенную. И только мы, несовершенные жители Земли, не можем слышать этой небесной музыки, составляющей вечное наслаждение олимпийских богов.

После того как были приобретены дальнейшие знания относительно движения небесных светил, потребовалось соответствующим образом пополнить идею о сферах, составляющих основу порядка Вселенной. В мировоззрении древних философов Греции считалось непоколебимым фактом, что Земля есть центр мира, главное тело мироздания. Поэтому все многочисленные усложнения, которые обнаружили древние ученые, - неравномерные движения планет, попятные движения и т. д., - требовалось объяснять только введением новых сфер, которые общим движением влияли бы на одно и то же небесное светило. Знаменитый древнегреческий ученый Эвдокс (408-355 гг. до н. э.) построил систему мира, состоящую из 27 сфер: по три для Солнца и Луны, по четыре для пяти остальных планет и большой сферы неподвижных звезд. Однако вскоре выяснилось, что и 27 сфер недостаточно для описания видимого движения планет. Поэтому вскоре последователь Эвдокса афинянин Калипп присоединил к эвдоксовым еще 22 сферы. С течением времени небесная машина становилась все сложнее и сложнее, так что в конце концов настойчиво выступила необходимость более простого и ясного описания.

Гиппарх. В основании всех древних воззрений на мир лежал принцип равномерного движения по окружностям. Впервые этот принцип был поколеблен александрийским ученым Гиппархом (II век до н. э.), открывшим, что длины времен года неодинаковы. Гиппарх первым нашел перигей и апогей Солнца и установил, что вблизи первого оно движется быстрее, чем вблизи второго. Но аксиома о равномерном движении слишком глубоко вошла в плоть и кровь античной науки, и Гиппарх не решился уничтожить ее.

Чтобы объяснить свои открытия, Гиппарх избрал иной выход. Допустим, что Солнце движется с постоянной скоростью по окружности, но центр этой окружности не

совпадает с центром Земли, а лежит вне его, где-нибудь в свободном пространстве. Тогда, действительно, нам должно казаться, что Солнце движется неравномерно - быстрее, когда оно идет по части круга, к которой Земля расположена ближе, и медленнее - в противоположной части.

Центр движения Солнца находится здесь в точке пересечения пунктирных линий, сплошные линии сходятся в центре Земли. Путем проб можно найти подходящее место для точки, находясь в которой наблюдатель будет видеть упомянутые выше особенности движения Солнца, хотя на самом деле оно совершается равномерно по кругу. Линию, соединяющую перигей и апогей, Гиппарх назвал линией апсид. Отношение измеренного по ней расстояния от центра солнечной орбиты до центра Земли к радиусу орбиты было названо им эксцентриситетом орбиты. Эти названия удержались в астрономическом языке до настоящего времени.

По аналогии с солнечной, центр лунной орбиты Гиппарх также поместил вне Земли. Он вычислил для нее направление линии апсид, эксцентриситет, перигей и апогей. Движения Солнца и Луны Гиппарх определил с удивительной для его времени точностью. Например, по данным, полученным Гиппархом, можно было бы с точностью до одного дня вычислить даты наступления полнолуний даже для нашего времени (более чем на 2000 лет вперед!). Великий александрийский астроном начал также исследовать движения других планет, что представляло более значительные трудности. Но огромный шаг вперед в этом направлении удалось сделать только его земляку и последователю Клавдию Птолемею (II век новой эры).

Система мира Птолемея

Птолемеяева система мира, которая царила, не оспариваемая никем, около полутора тысяч лет, была основана на наблюдениях и вычислениях Гиппарха. Птолемей изложил свою систему мироздания в знаменитом сочинении «Мегале синтаксис» («Великое построение»), более известном под арабским названием «Альмагест». До конца средневековья этот труд почитался почти наравне с божественным откровением. Сомнение в словах «Альмагеста» считалось преступлением.

В основе системы мира Птолемея лежат четыре постулата:

I. Земля находится в центре Вселенной.

II. Земля неподвижна.

III. Все небесные тела движутся вокруг Земли.

IV. Движение небесных тел происходит по окружностям с постоянной скоростью, т. е. равномерно.

Птолемей положил в основу своей системы эксцентрические круги Гиппарха. Однако, согласно Птолемею, все планеты, за исключением Солнца, не обращаются непосредственно по этим кругам - по ним движется центр другого круга, и только по нему обращается планета (рис. 6). Круги, по которым обращаются планеты, называются эпициклами; круги, по которым движутся центры эпициклов - деферентами. Деферент Солнца, деференты и эпициклы других планет лежат внутри сферы, на поверхности которой расположены «неподвижные звезды».

Суточное движение всех светил объяснялось вращением всей Вселенной как единого целого вокруг неподвижной Земли. Прямые и попятные движения планет объяснялись следующим образом.

Пусть в определенный момент времени планета находится на эпицикле в точке P1 (рис. 7), а центр эпицикла - на деференте в точке Nt. В процессе равномерного кругового движения обеих точек - планеты с угловой скоростью a вокруг точки N1 и самой точки N1 как центра эпицикла с угловой скоростью w вокруг Земли - планета опишет петлю, которую наблюдатель видит в проекции на небесную сферу. Причина образования петли очевидна: в точке P1 движения по эпициклу и по деференту направлены в одну сторону - справа налево. Описав дугу в 180° , планета движется по эпициклу слева направо. При определенном соотношении между a и w направление видимого движения в положении, близком P2, изменяется - планета здесь совершает попятное движение.

Для каждой планеты Птолемей подобрал относительные размеры радиусов эпицикла и

деферента, положения центров деферентов и скорости движения планет по эпициклам и деферентам так, чтобы движение получалось близким к реально наблюдаемому. Это оказалось возможным при выполнении некоторых условий, которые Птолемей принял в качестве постулатов. Они сводились к следующему:

- 1) центры эпициклов нижних планет лежат на направлении от Земли к Солнцу;
- 2) у всех верхних планет этому направлению параллельны радиусы эпициклов, проведенные в точку положения планеты.

Таким образом, направление на Солнце в системе мира Птолемея оказывалось преимущественным.

Система мира Птолемея не только давала качественное объяснение видимым движениям планет, но и позволяла вычислить их положение на будущее с довольно высокой точностью. По мере повышения точности наблюдений возникали разногласия их с теорией, которые устранялись путем усложнения системы. Например, некоторые «неправильности» в видимых движениях планет, открытые позднейшими наблюдениями, объяснялись тем, что вокруг центра первого эпицикла обращается не планета, а центр второго эпицикла, по окружности которого уже движется планета. Когда и такое построение для какой-либо планеты оказывалось недостаточным, вводили третий, четвертый и т. д. эпициклы, пока положение планеты на окружности последнего из них не давало более или менее сносного согласия с наблюдением. К началу XVI столетия система Птолемея содержала в общей сложности 40 кругов. Возвратимся еще раз к «Альмагесту» Птолемея и в небольшой таблице приведем числа, которые дал этот великий александрийский ученый для планетных движений по эпициклам и для движений самих эпициклов по деферентам:

Планеты

Суточное движение	по эпициклам
-------------------	--------------

Открытие вселенной

Автор: admin

05.06.2011 03:39 -

Суточное движение центра эпицикла по деференту

Суммарное движение

Солнце

0°0'00,0"

0°59'8,3"

0°59'8,3"

Меркурий

3°6'21,4"

0°59'8,3"

4°5'32,4"

Венера

Открытие вселенной

Автор: admin

05.06.2011 03:39 -

0°36'59,4";

0°59'8,3";

1°36'7,7";

Марс

0°27'41,7";

0°31'26,6";

0°59'8,3";

Юпитер

0°54'9,0";

0°4'58,3";

0°59'8,3";

Сатурн

0°57'7,7";

0°2'0,6";

0°59'8,3";

В этой таблице бросается в глаза тот поразительный факт, что центр эпицикла у нижних планет (Меркурия и Венеры) движется с той же скоростью, что и Солнце вокруг Земли. Для верхних планет - Марса, Юпитера и Сатурна - эти числа различаются, но суммы обоих движений дают ту самую величину движения Солнца. Следовательно, движение Солнца заключается во всех планетных движениях. Конечно, такое явление должно было казаться чрезвычайно странным. Сам собою возникает вопрос, не лежит ли в основе этих одинаковых числовых величин какая-нибудь общая причина?

Нет сомнения, что многие мыслители древности и средневековья ставили такой вопрос. Например, античный астроном Аристарх утверждал центральное положение Солнца в системе мира. Однако первым человеком, который дерзнул строго математически разработать идею о том, что все планеты обращаются вокруг Солнца, был гениальный польский астроном Николай Коперник (1473- 1543).

Система мира Коперника

Книга Коперника «Об обращениях небесных сфер» - труд всей его жизни - была опубликована в 1543 году незадолго до смерти ученого. В этом сочинении Коперник разработал идею о движении Земли и положил начало новой астрономии. Созданная им система мира называется гелиоцентрической. В ее основе лежат следующие утверждения:

- 1) в центре мира находится Солнце, а не Земля;
- 2) шарообразная Земля вращается вокруг своей оси, и это вращение объясняет кажущееся суточное движение всех светил;
- 3) Земля, как и все другие планеты, обращается вокруг Солнца, и это обращение объясняет видимое движение Солнца среди звезд;
- 4) все движения представляются в виде комбинации равномерных круговых движений;
- 5) видимые прямые и попятные движения планет объясняются движением Земли.

Кроме того, Коперник считал, что Луна движется вокруг Земли и как спутник вместе с Землей - вокруг Солнца.

Постулат о равномерном движении по окружностям заставил Коперника подобно Птолемею ввести эпициклы и сместить центры окружностей-деферентов относительно центра Солнца. В итоге модель Коперника выглядела не менее сложно, чем модель Птолемея: достаточно сказать, что она содержала 48 кругов вместо 40 кругов в геоцентрической модели. Не отличалась она и большей точностью. Однако в ней было зерно научной истины, сделавшее ее фундаментом новой астрономии.

По иронии судьбы, подтвердить вывод Коперника о том, что Земля вращается вокруг Солнца, выпало на долю датского ученого Тихо Браге (1546-1601), который имел весьма веские основания не принимать гелиоцентрическую систему. Главный довод Тихо Браге против системы Коперника заключался в следующем: если бы Земля вращалась вокруг Солнца, то и Венера, и Меркурий имели бы фазы, как Луна, чего никто из серьезных астрономов никогда не наблюдал. Доводы Браге звучали убедительно, и хотя предсказываемые фазы, как теперь хорошо известно, действительно существуют, несовершенство оптических инструментов не позволяло их обнаружить. И все же именно точные наблюдения Браге за положением планет в конце концов подтвердили точку зрения Коперника. Данные, полученные Браге, позволили его ученику Иоганну

Кеплеру (в итоге восьмилетней работы) объявить, что орбиты планет представляют собой эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце, и что в каждую единицу времени радиус-вектор планеты заметает одинаковую площадь. Так рухнула Пифагорова гармония круговых орбит вокруг богом данного особого положения нашей планеты. Законы Кеплера в свою очередь (в большей степени, чем легендарное падающее яблоко) явились фундаментом, на котором покоится закон всемирного тяготения Ньютона, ставший почти на три столетия основой физики и космологии.

Коперник Николай (1473-1543), великий польский астроном и государственный деятель, один из выдающихся ученых в истории естествознания, творец гелиоцентрической системы мира.

Коперник родился в польском городе Торунь в семье зажиточного купца. Он рано лишился родителей и воспитывался у своего дяди Л.Ваченроде - известного общественно-политического деятеля того времени. Получил богословское и медицинское образование в университете Кракова в Италии. Коперник с юности интересовался астрономией. Изучал ее, посещал в Кракове лекции о «семи свободных искусстваах», в число которых входили тогда астрономия и математика. Учился наблюдениям у итальянских астрономов и читал в подлинниках сочинения древнегреческих классиков. По возвращении в Польшу Коперник поселился в Вармии - сначала в городке Лидцбарке, потом в Фромборке. Деятельность его была разнообразна. Он принимал активное участие в управлении областью: ведал ее финансовыми, хозяйственными и другими делами. В то же время Коперник неустанно размышлял над устройством Солнечной системы и постепенно пришел к своему великому открытию.

Коперник использовал идею древнегреческого философа Аристарха Самосского (III в. до н.э.) о том, что Земля движется вокруг Солнца. Общую философскую догадку Коперник превратил в строгую математическую теорию, впервые объяснившую все известные тогда особенности в движении планет, Солнца и Луны. Коперник утверждал, что Земля и другие планеты - спутники Солнца. Он показал, что именно движением Земли вокруг Солнца и ее суточным вращением вокруг своей оси объясняется видимое перемещение Солнца среди звезд, петлеобразное движение планет и видимое суточное вращение небесного свода.

Свою теорию Коперник создавал почти 30 лет. Она изложена в его знаменитом сочинении «Об обращениях небесных сфер» (1543). Учение Коперника нанесло сокрушительный удар религии и церкви, утверждавшим представления о Земле

как избраннице божьей, стоящей в центре мира (согласно геоцентрической системе мира Птолемея), и сыграло огромную роль в последующем развитии естествознания. На основе этой теории были открыты И.Кеплером законы движения планет и И.Ньютоном закон всемирного тяготения. Гелиоцентрическая система опровергла представление об особом положении Земли во Вселенной, послужила основанием для развития идеи множественности обитаемых миров, бесконечности самой Вселенной. Она показала возможность теоретико-экспериментального познания мира. Поэтому провозглашение гелиоцентрической системы Коперника вошло в историю естествознания как великая научная революция.