

# Астрономия

## 17 и 24 октября 2019

### 1 Историческая справка

С античных времён астрономия была тесно связана с философией. Описание взаимного влияния этих двух наук выходит далеко за рамки школьного курса астрономии, поэтому даже в этом конспекте подробности философского характера будут опущены.

#### 1.1 Геоцентрическая система мира

Земля считалась центром мироздания с древнейших времён. Математическая теория движения планет и звёзд вокруг *неподвижной Земли* происходит из Древней Греции<sup>1</sup> и традиционно приписывается Птолемею<sup>2</sup>. Пифагор, Платон, Аристотель и другие философы древности способствовали развитию геоцентрической системы мира. Следует понимать, что в то время такой взгляд на природу был вполне закономерен, так как никаких признаков вращения земли не обнаруживалось, зато наблюдалось равномерное суточное вращение неба, Солнца и Луны вокруг Земли. Если суточное вращение звёзд ещё можно было объяснить тем, что они находятся на внутренней поверхности "небесной сферы", которая вращается вокруг Земли, то для объяснения *неравномерного петлеобразного движения планет* по звёздному небу (см. Раздел 2) приходилось вводить комбинации нескольких равномерных движений по окружностям разного размера. Так, в птолемеической системе планеты двигались по малым кругам – эпициклам, центры которых, в свою очередь, двигались по большим кругам – деферентам (Рис.1).

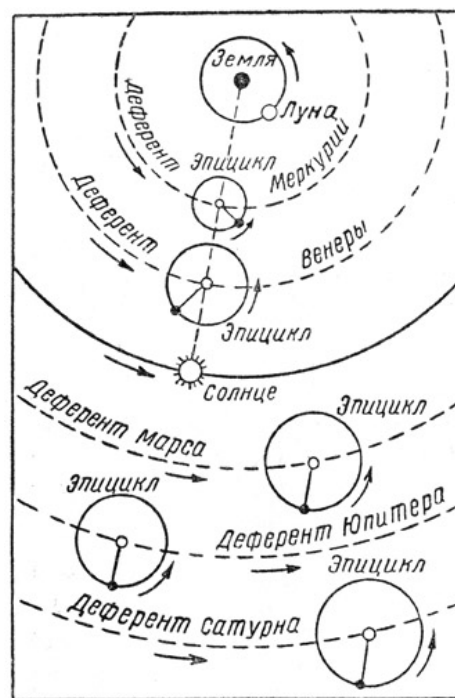


Рис.1. Геоцентрическая система

Такая система мира была общепринятой вплоть до середины второго тысячелетия. Она сыграла большую роль в науке, так как позволяла предвычислять видимое положение планет и побуждала астрономов совершенствовать свои наблюдения с целью уточнения теории движения планет. Но со временем она начала показывать свою несостоятельность из-за необходимости включения в вычисления всё большего количества эпициклов.

<sup>1</sup>Оттуда же происходит самая ранняя достоверная идея о шарообразности Земли.

<sup>2</sup>Геоцентрическая система мира описана в его трактате "Альмагест" (ок. 140 года нашей эры).

## 1.2 Гелиоцентрическая система мира

Николай Коперник объяснил<sup>3</sup> видимые движения планет, Солнца и Луны вращением Земли вокруг своей оси и обращением планет, в том числе Земли, вокруг Солнца. Это событие стало одной из стартовых точек начала научной революции XVI столетия. Тихо Браге первым в Европе начал проводить систематические и высокоточные астрономические наблюдения, которые позволили Иоганну Кеплеру вывести свои законы движения планет (которые уже обсуждались ранее). Пересмотренная система мироздания дала гораздо более точное описание движения планет, чем система Птолемея. Галилео Галилей первым использовал телескоп для наблюдения небесных тел и, по сути, основал экспериментальную физику; защита им гелиоцентрической системы<sup>4</sup> привела его к серьёзному конфликту с католической церковью. Исаак Ньютон, сформулировавший<sup>5</sup> закон всемирного тяготения и три известных закона, заложил основы классической механики. Переход к гелиоцентрической системе принципиально перестроил методы научного познания и оказал огромное влияние на философское восприятие мира.

## 2 Видимое движение планет

Планеты (от др.-греч. "блуждающий" , "странник") делятся на две группы: **нижние/внутренние** (Меркурий, Венера) и **верхние/внешние** (все остальные планеты, кроме Земли). Напомним, что все планеты вращаются в одну сторону - против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса Солнца. Характерной особенностью планет, отличающей их от других небесных светил, является (только при наблюдении их с Земли) наличие **попятного** или, как ещё говорят, **ретроградного** движения, которое наблюдается у верхних планет вблизи **противостояния**, а у нижних – около **нижнего соединения** (см. Рис.2). Оно длится несколько недель или месяцев, после чего планета продолжает своё прямое (то есть в одном направлении с Землёй) движение.



Рис.2. Конфигурации планет.

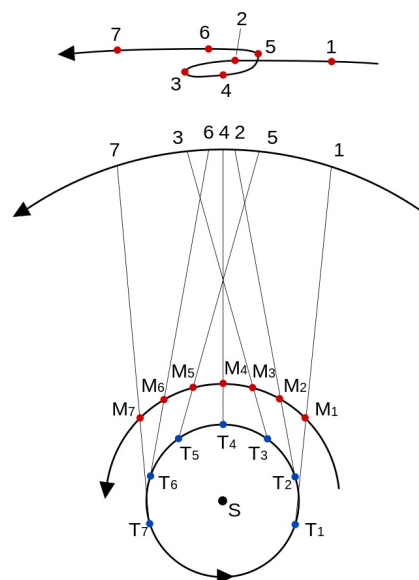


Рис.3. Траектория перемещения внешней планеты по небесной сфере.

<sup>3</sup>Свои труды он изложил в трактате "Об обращениях небесных сфер" (1543).

<sup>4</sup>Изложенная в его сочинении "Диалог о двух системах мира" (1632).

<sup>5</sup>В своей работе "Математические начала натуральной философии" (1687).

В результате сочетания прямого и попятного движения на траектории перемещения планет по небесной сфере возникают петли<sup>6</sup> (см. Рис.3). В основе этого лежит тот факт, что скорость планеты тем меньше, чем она дальше от Солнца<sup>7</sup>, из-за чего Земля иногда обгоняет верхние планеты или, наоборот, обгоняема нижними.

### 3 Гелиоцентрический годичный параллакс

С развитием гелиоцентрической системы у астрономов возникло понимание, что из-за обращения Земли вокруг Солнца далёкие объекты (например, звёзды *на фоне других звёзд*<sup>8</sup>) должны смещаться из-за изменения направления луча зрения на них с Земли. Гелиоцентрический годичный параллакс - это наибольшее в течение года отклонение звезды от её среднего положения; по сути, это угол  $\pi$ , под которым со звезды, удалённой на расстояние  $r$ , виден радиус земной орбиты - (1 а.е.). Следует понимать, что для любой далёкой звезды такой угол будет очень маленьким. Обычно их выражают в угловых секундах ( $''$ ). Напомним, что

$$180^\circ = \pi \text{ радиан, } 1^\circ = 60' = 3600''.$$

Из курса математики известно, что при малых углах  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$  ( $\alpha$  обязательно должен быть выражен в радианах!). Таким образом, на картинке справа в прямоугольном треугольнике с вершинами Солнце - Земля - близкая звезда имеем

$$\sin \pi = \frac{1 \text{ а.е.}}{r} \Rightarrow r = \frac{1 \text{ а.е.}}{\sin \pi} \approx \frac{1 \text{ а.е.}}{\pi}.$$

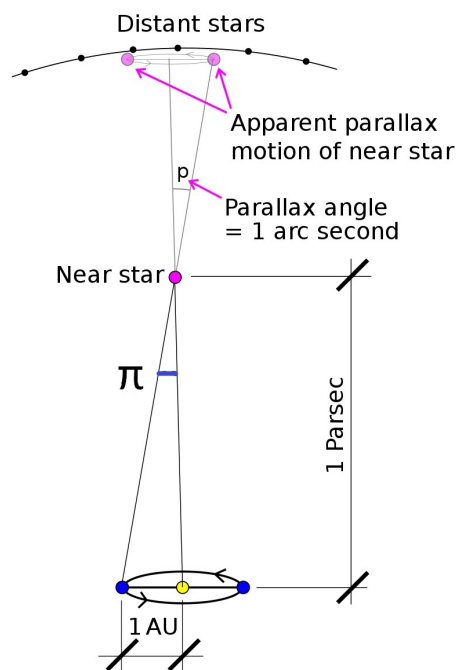


Рис.4. Звёздный параллакс.

Поскольку расстояния до звёзд много больше расстояния между Солнцем и Землёй, в этом треугольнике гипотенуза практически равна катету, что обеспечивает малость угла  $\pi$  для любой звезды. Тихо Браге первым попытался измерить параллактическое смещение звёзд невооружённым глазом и тем самым проверить теорию Коперника, однако он не знал, что точности измерений углов около  $1'$ , определяемой свойствами глаза, в принципе недостаточно для таких измерений. Только спустя почти три столетия астрономические приборы были усовершенствованы настолько, чтобы можно было увидеть параллаксы звёзд.

В астрономии за единицу расстояний до звёзд принята величина 1 парсек (пк) - это расстояние, с которого земная орбита видна под углом в одну секунду. Таким образом,

$$1 \text{ ПК} = \frac{1 \text{ а.е.}}{1''} = \frac{1 \text{ а.е.}}{\left(\frac{1^\circ}{3600}\right)} = \frac{1 \text{ а.е.}}{\frac{1}{3600} \left(\frac{\pi}{180} \text{ рад}\right)} = \frac{180 \cdot 3600}{\pi} \text{ а.е.} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м} = 3.26 \text{ светового года}.$$

Параллакс  $\alpha$  Центавра<sup>9</sup>, ближайшей к нам звезды (если точнее, тройной звезды, ближайшая в которой - Проксима Центавра), равен  $\pi = 0.77''$ . Тогда расстояние до неё равно

$$r = \frac{1 \text{ а.е.}}{0.77''} = 1.3 \text{ ПК} \approx 4.24 \text{ св.г.}$$

<sup>6</sup>В действительности петли возникают из-за наклона орбит планет относительно плоскости эклиптики.

<sup>7</sup>Это можно легко получить, например, из третьего закона Кеплера.

<sup>8</sup>Наличие удалённого фона существенно!

<sup>9</sup> $\alpha$  - это обозначение звезды, а не угла.