

Начала астрономии в античной Греции (VIII – V вв. до н.э.)

This map illustrates the geographical layout of ancient Greece, highlighting its diverse regions and island archipelago. Major landmasses include the Greek mainland with regions like Macedonia, Thessaly, and the Peloponnese, and a vast network of islands including the Cyclades, Dodecanese, and Crete. Key cities and locations are marked, such as Athens, Sparta, and Corinth. The map also shows significant mountain ranges like the Pindus and Mount Olympus, and the surrounding seas, including the Aegean and Ionian. A scale bar at the bottom provides a reference for distances, ranging from 0 to 150 km.

“Ионийское пробуждение”

Фалес из Милета (625-547 гг. до н.э.)

первый ионийский ученый, один из “семи мудрецов”

Путешествовал в Египет и был посвящен в знание
Вавилона

- ✓ Умел предсказывать солнечные затмения
- ✓ Знал, как измерить высоту пирамиды по длине ее тени и высоте Солнца над горизонтом
- ✓ Первым стал доказывать геометрические теоремы

“Ионийское пробуждение”

Фалес из Милета (625-547 гг. до н.э.)

- ✓ Пытался объяснить мир, не ссылаясь на вмешательство богов
- ✓ Считал, что весь мир состоит из воды (взгляды вавилонян, но без “Мардука” - Саган, стр. 264); земля же образовалась благодаря естественному процессу, подобному заилению

Главное умозаключение:

мир является продуктом взаимодействующих в природе материальных сил

(Саган, стр. 264, легенда)

“Ионийское пробуждение”

Анаксимандр (ок. 610-546 гг. до н.э.)

друг и сподвижник Фалеса, первый экспериментатор

- ✓ Изучая движение тени от вертикальной палки, определил продолжительность года и сезонов
- ✓ Первым в Греции построил солнечные часы, создал карту известного мира и небесный глобус с рисунками созвездий
- ✓ Считал, что Солнце, Луна и звезды – огонь, видимый сквозь перемещающиеся отверстия в небесном своде. Ему же принадлежит идея нескольких небесных сфер вокруг Земли

“Ионийское пробуждение”

Анаксимандр (ок. 610-546 гг. до н.э.)

- ✓ Полагал, что Земля (имеет форму цилиндра! – выгнута, по крайней мере, в одном направлении) не подвешена к небу и не поддерживается им, но сама по себе находится в центре Вселенной
- ✓ Утверждал, что таких миров, как наша Земля, во Вселенной может быть бесконечное множество

“Ионийское пробуждение”

Постепенно ионийское влияние распространялось на территорию материковой Греции, Италии и Сицилии

Анаксагор (ок. 500 - ок. 428 гг. до н.э.) – Афины -

фактически один из первых атомистов (все вещи состоят из первичных зернышек – “гомеоморий”) (Саган, стр. 272, в чем видел смысл жизни)

“Ионийское пробуждение”

Анаксагор (ок. 500 - ок. 428 гг. до н.э.)

- ✓ Первым заявил, что Луна светит отраженным светом, и разработал теорию смены лунных фаз (это шло вразрез с существовавшими предрассудками)
- ✓ Объяснил лунные затмения
- ✓ Луна подобна Земле (есть горы и долины + живые существа)

“Ионийское пробуждение”

Анаксагор (ок. 500 - ок. 428 гг. до н.э.)

- ✓ Солнце и звезды – раскаленные камни
- ✓ Метеориты – обломки Солнца
- ✓ Звезды далеки потому, что мы не чувствуем тепла от них
- ✓ Солнце огромно (возможно, больше Пелопоннеса) и представляет собой огонь

Был обвинен в безбожии, брошен в тюрьму, позже выслан из Афин

“Ионийское пробуждение”

Демокрит (460-370 гг. до н.э.)

Много путешествовал, был в Вавилоне, Египте, Индии, Эфиопии

- ✓ Придумал слово **атом** – “неделимый” – “Нет ничего, кроме атомов и пустоты”
- ✓ Понял, как нужно вычислять объем конуса и пирамиды (стучался в двери интегрального и дифференциального исчисления)

“Ионийское пробуждение”

Демокрит (460-370 гг. до н.э.)

- ✓ Верил, что Вселенная состоит из множества миров, которые эволюционируют, а потом распадаются, миры могут сталкиваться, в некоторых есть множество Солнц и Лун, в других их нет вообще

“Ионийское пробуждение”

Демокрит (460-370 гг. до н.э.)

- ✓ Утверждал, что Солнце во много раз больше Земли, что Луна светит отраженным солнечным светом
- ✓ Считал Млечный Путь, состоящим в основном из неразличимых звезд (**Саган, стр. 271, Томас Райт**)

К этому времени короткая традиция терпимого отношения к необщепринятым воззрениям начала рушиться

Сочинения Демокрита (73) уничтожались еще при его жизни (Платон!)

“Пифагорейцы”

Ученые от **Фалеса** до **Демокрита** - “досократики”

На самом деле это была совершенно иная, противоположная последующей методологии исследований традиция – очень близкая к современной науке: ионийцы верили, что гармонию мира можно обнаружить путем наблюдений и экспериментов

Научная методология, которая связывается с именами **Сократа, Платона и Аристотеля**, идет от **Пифагора**: законы природы можно вывести из одних только умозаключений

“Пифагорейцы”

Пифагор (570-500 гг. до н.э.) - Самос

Школа Пифагора возникла в греческой колонии на юге Аппенинского полуострова

Сущность мира связывалась с соотношениями между числами

“Пифагорейцы”

Чем мы обязаны Пифагору?

Он

- ✓ первый доказал, что Земля имеет форму шара (по форме земной тени, падающей на Луну при ее затмении);
- ✓ разработал метод математической индукции;
- ✓ (первым использовал слово “Космос”).

“Пифагорейцы”

Пифагор

С другой стороны – от него пошел **антиэмпирический** способ познания мира!

Пифагорейцы были заворожены миром чисел. Особенно их занимали правильные многогранники - 5

Связь с четырьмя “элементами”

Додэкаэдр – “пятый элемент” (знания о додэкаэдре были засекречены)

“Пифагорейцы”

Правильные многогранники



“Пифагорейцы”

Пифагор

Открыли иррациональные числа и также засекретили это знание (Саган, стр. 279, про Гиппаса)

От них - строго круговые орбиты планет - как самые совершенные (даже Кеплер не мог долго избавиться от пифагорейского влияния).

(Саган, стр. 276, Рассел, стр. 277, Цицерон)

Музыка хрустальных сфер

Платон (427-347 гг. до н.э.) - Афины

Вообще исключал наблюдения как способ познания мира

“Мы должны изучать астрономию точно так же, как математику, при помощи теорем.” (Платон, “Республика”)

Движение небесных тел - круговое и равномерное.

Первые небесные сферы

Задача: разработать модель движения планет на небесной сфере

Музыка хрустальных сфер

Евдокс Книдский (408-355 гг. до н.э.)

Много времени провел в Египте, а затем жил в Афинах

Первая кинематическая модель движения небесных
светил

Центр – Земля

Движение планеты регулируется движением нескольких
вложенных друг в друга сфер

Музыка хрустальных сфер

Евдокс Книдский (408-355 гг. до н.э.)

Внешняя – один оборот за сутки – с востока на запад

Ось другой наклонена (для Солнца – 23.5°); вращается с запада на восток (для Солнца – период 1 год)

Для Луны – 3 сферы (третья - чтобы объяснить отклонение от эклиптики)

Для планет – 4 сферы (отклонение от эклиптики + попятное движение – наклон оси для каждой планеты - свой)

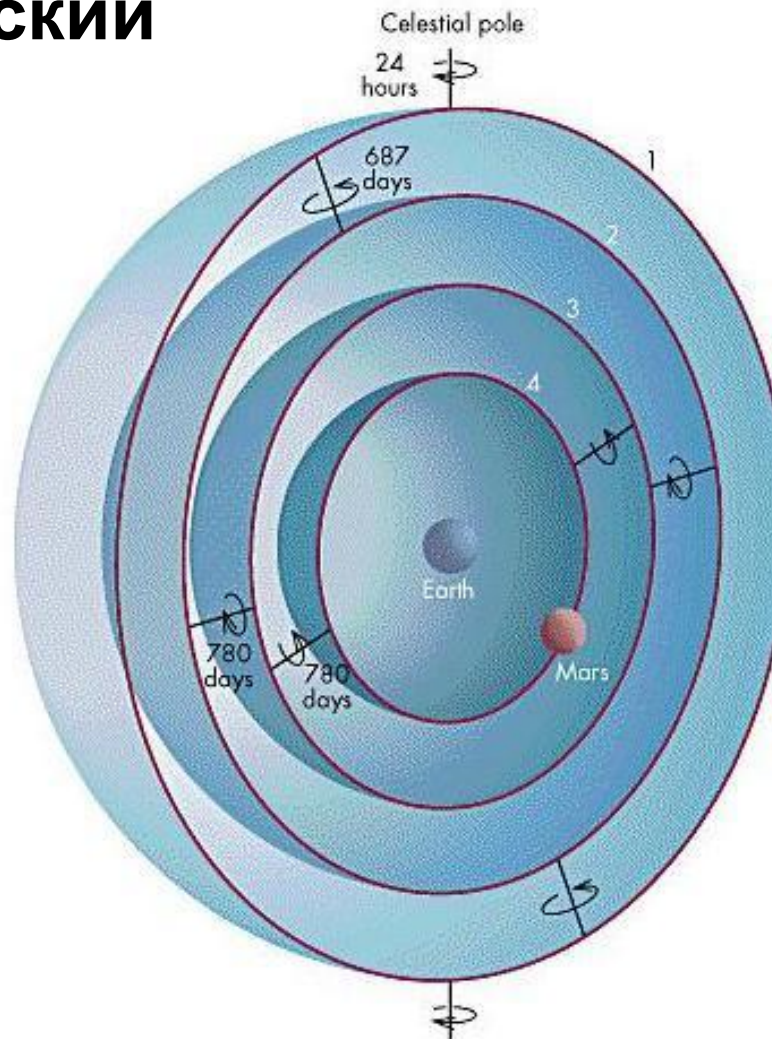
Всего 27 сфер ($3+3+5*4+1$)

История астрономии

Астрономия в Греции в IV – III вв. до н.э.

Музыка хрустальных сфер

Евдокс Книдский



Музыка хрустальных сфер

Аристотель (384-322 гг. до н.э.)

Мир состоит из двух частей – неизменного небесного мира и меняющегося земного (подлунного)

Причины изменений – из общих понятий

Связь между явлениями устанавливалась логически

Музыка хрустальных сфер

Аристотель

- ✓ Мир симметричен и состоит из геоцентрических сфер
- ✓ Движения – вокруг центра или вдоль радиусов
- ✓ Подлунный мир содержит 4 элемента. Вода, земля – вниз. Огонь, воздух – вверх
- ✓ За Луной – зона эфира (“пятый элемент”)
- ✓ Сферы – хрустальные
- ✓ Первопричина вращения – движение особой внешней сферы
- ✓ Всего 55 сфер

Аристарх Самосский

(ок. 310 – ок. 250 гг. до н.э.)

Коперник античного мира

Один из последних ионийских ученых

Некоторое время проживал в Александрии (тогдашний центр). Был знаком с успехами вавилонской астрономии

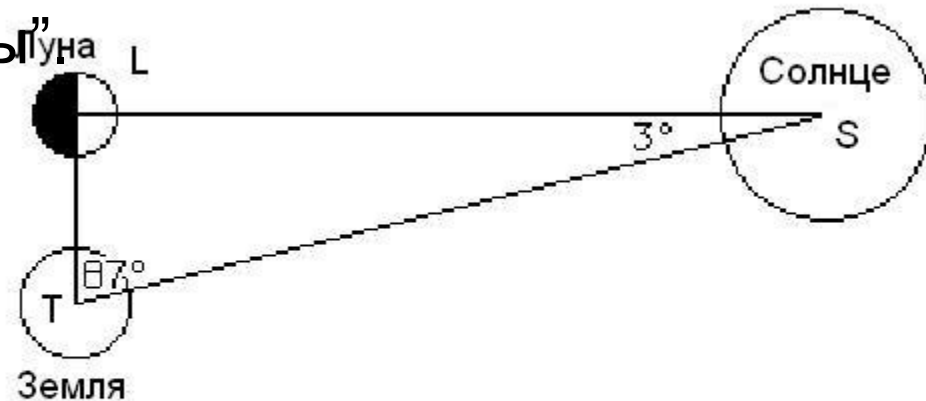
Первым поместил Солнце в центр планетной системы

(Саган, стр. 285 – связь с Коперником)

Аристарх Самосский

Единственное дошедшее до нас сочинение: “О размерах и расстояниях Солнца и Луны”

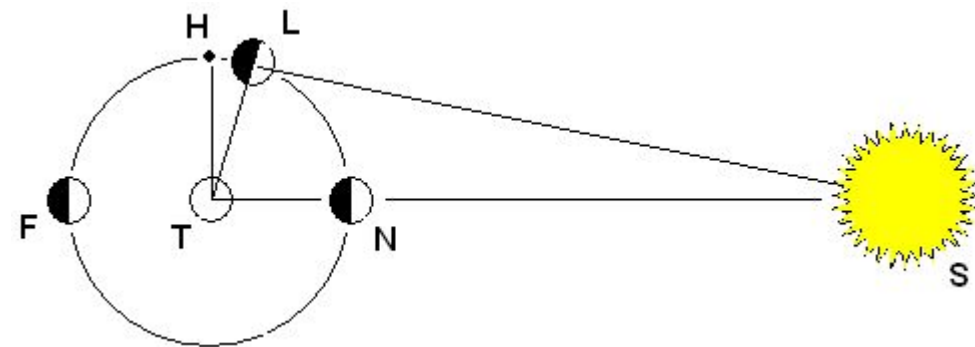
- ✓ Догадался, как можно установить расстояния в системе Солнце-Земля-Луна.



$$\frac{TL}{TS} = \sin 3^\circ = 0.0523 = \frac{1}{19.1}$$

$$\sin (89.8^\circ) = 1/286$$

(в 15 раз!)



Аристарх Самосский

Первый в истории астрономии труд, в котором расстояния между небесными телами были определены из наблюдений!

1. Радиус Солнца ≈ 7 радиусов Земли
2. Радиус Луны $\approx 7/19$ радиусов Земли
3. Расстояние от Земли до Луны ≈ 19 радиусов Земли
4. Расстояние от Земли до Солнца ≈ 19 расстояний от Земли до Луны (ошибка $\approx$ в 20 раз!) ≈ 361 радиус Земли

Аристарх Самосский

Оценил объем Солнца по сравнению с объемом Земли
(254-368)

Солнце очень большое!

Сама идея вращения такого большого тела вокруг Земли
абсурдна

(Горбацкий, стр. 46, Архимед “Псаммит”)

Эратосфен (ок. 276 – ок. 194 гг. до н.э.)
заведующий Александрийской библиотекой

В Сиене, вблизи первого из нильских порогов, в полдень
21 июня вертикальный шест не отбрасывает тени

Догадался поставить аналогичный опыт в Александрии –
шест отбрасывает тень!

Почему?

Эратосфен

Почему?

Поверхность Земли искривлена

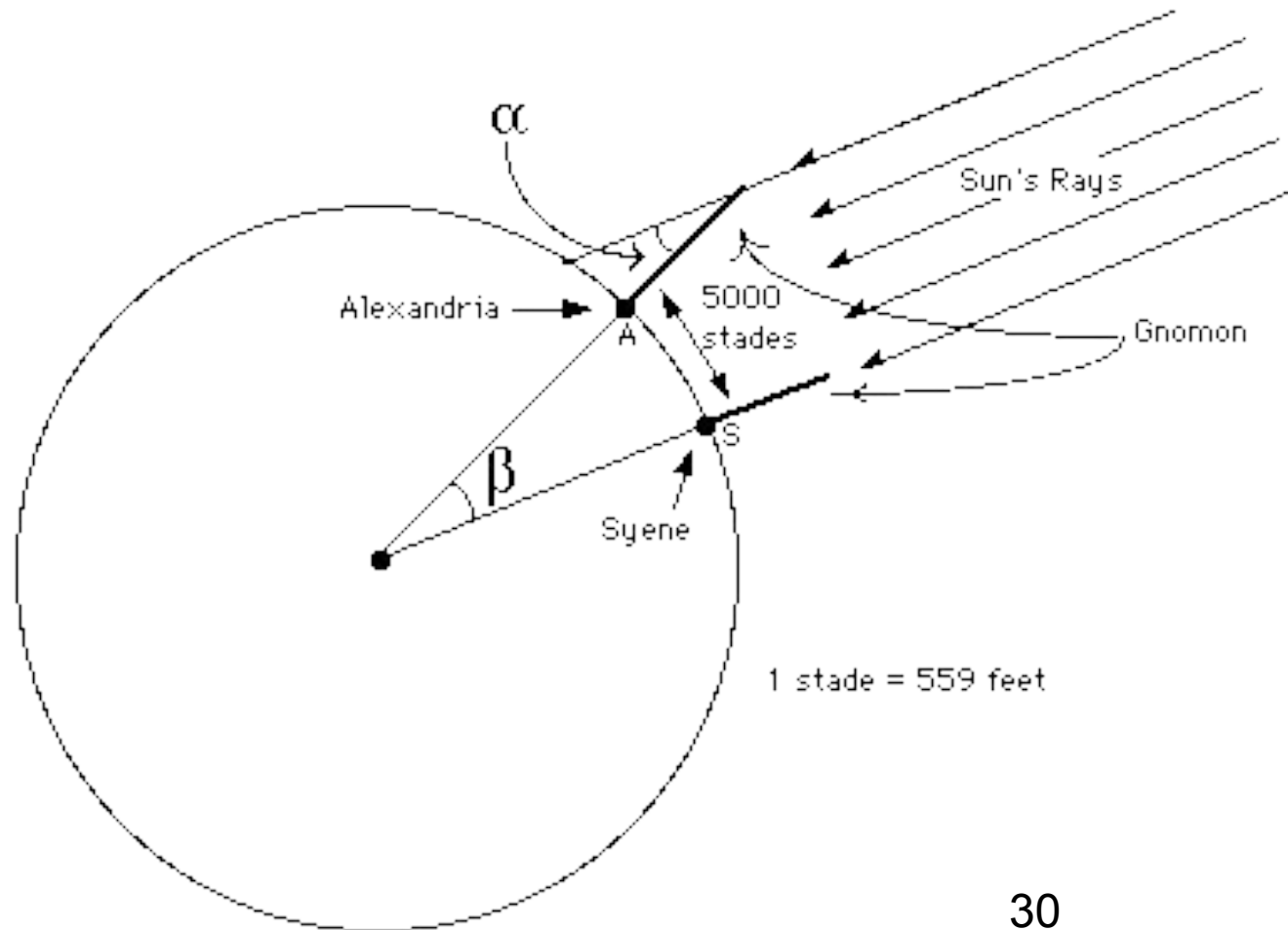
Расстояние (угловое) между Александрией и Сиеной должно быть примерно $1/50$ полной окружности ($\approx 7^\circ$)

Расстояние между городами ≈ 5000 стадий (157.5 – 185 м)

Длина всей окружности – 250 000 стадий $\approx 40\,000$ км – погрешность около 1.5 %!

Эратосфен

Радиус Земли



Гиппарх (ок. 185-126 гг. до н.э.)

Работал в обсерватории на острове Родос

Результаты его трудов известны благодаря сочинению
“Альмагест”

Начиная с Гиппарха, астрономия стала оформляться в
точную науку

Гиппарх

- ✓ Разработал теорию движения Солнца и Луны
- ✓ Разработал метод предсказания затмений ($dt = 1^h - 2^h$)
- ✓ Заложил основы сферической астрономии и тригонометрии
- ✓ Установил, что следует различать **звездный** и **тропический год**
- ✓ Установил продолжительность тропического года в $365\frac{1}{4} - \frac{1}{300}$ суток
- ✓ **Открыл прецессию**

Гиппарх

Прецессия

~ 43" в год (точное значение 50".26, или 1° за 72 года) - Как?

Во время лунных затмений долгота (эклиптическая) Луны от точки весеннего равноденствия больше на 180° долготы Солнца.

Измеряя угловые расстояния ярких звезд от центра диска Луны, можно определить их эклиптические долготы

Сравнивая их с записями предшественников, можно оценить движение точки весеннего равноденствия
(Климишин, стр. 43)

Гиппарх

Теория движения Солнца – “первое неравенство”

Гипотеза “простого эксцентриситета”

До Гиппарха была известна разная продолжительность времен года

(весна-лето – $94 \frac{1}{2}$ дн., лето-осень – $92 \frac{1}{2}$ дн. → 187 дн.
осень-зима + зима-весна → $178 \frac{1}{4}$ дн.)

Гиппарх построил модель неравномерно движущегося Солнца

Гиппарх

Гипотеза “простого эксцентриситета”

$M = Mo + \mu (t - t_o)$ - аномалия

$L = M + \Pi = L_o + \mu (t - t_o)$ – средняя долгота Солнца

$\lambda = v + \Pi$ – истинная долгота Солнца

$x = M - v = L - \lambda$

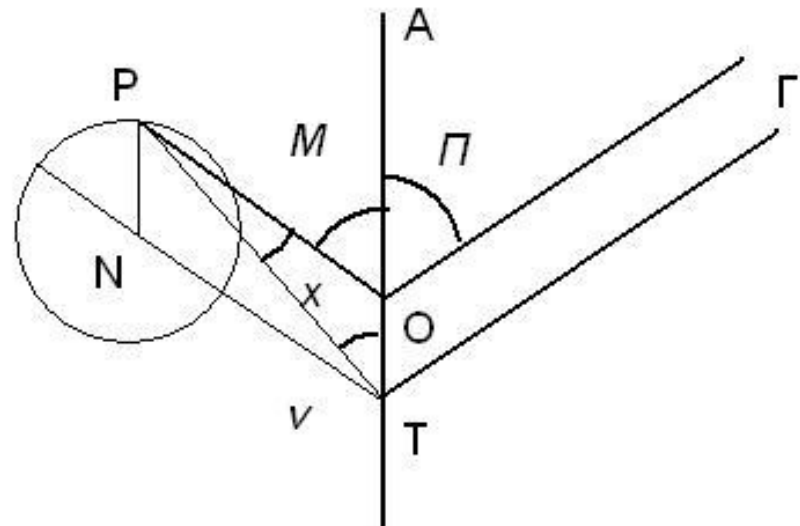
$v = \lambda - \Pi$

$\sin(x) / OT = \sin(v) / OP$

$OT / OP = \varepsilon$ – эксцентриситет

$\sin(L - \lambda) = \varepsilon \sin(\lambda - \Pi)$

Три значения долготы на
три момента времени



Гиппарх

Теория движения Солнца

Гипотеза “простого эксцентриситета”

$$\varepsilon = 1 / 24.17$$

$\Pi = 65^{\circ}30'$ (переменность долготы апогея была установлена позже арабами)

$x = \operatorname{arctg} (\varepsilon \sin M / (1 + \varepsilon \cos M))$ – (уравнение центра – Гиппарх)

$$\varepsilon \ll 1$$

$$x = \varepsilon \sin M - \varepsilon^2/2 \sin 2M$$

$x = 2e \sin M - 5e^2/4 \sin 2M$ – движение по эллипсу

$$\varepsilon = 2 e$$

$e = 0.01675$ – эксцентриситет

Земли

$\varepsilon/2 = 0.01674$ – по Гиппарху

Гиппарх

Теория движения Солнца

Гипотеза “простого эксцентриситета”

- (1) Хорошие результаты при определении долгот
- (2) Плохая точность для представления изменения расстояния от Земли до светила (позже Птолемей это уточнил)

Гиппарх

Теория движения Луны

- ✓ Уточнил значение синодического месяца – $29^{\text{д}} 12^{\text{ч}} 44^{\text{м}} 2.5^{\text{с}}$
Метон (432 г. до н.э.): 19 тр. лет = 235 син. мес. = 6
940 сут. (погрешность 2 мин.)
Каллипп: 4×19 тр. лет = 27 759 сут. (погрешность 22 сек.)
Гиппарх: 4×76 тр. лет = 111 035 сут. (погрешность 0.3 сек.)
- ✓ Установил, что путь Луны на небесной сфере наклонен к эклиптике под углом 5°
- ✓ Луна, как и Солнце, движется неравномерно (та же теория эксцентров)
- ✓ 49 Период точки перигея – 8.85 лет

Гиппарх

Расстояние и параллакс Луны

- ✓ Пересмотрел задачу об установлении расстояния до Луны
Видимый диск Луны укладывается в сечение земной тени почти 3 раза ($8/3$). Далее – подобные треугольники
Радиус Луны = $3/11$ радиусов Земли!!! (Аристарх – $7/19$)
Расстояние до Луны = 59 радиусов Земли!!! (Климишин, стр. 49)
- ✓ Определил суточный параллакс Луны – как сумму видимых радиусов Солнца и земной тени (это нужно было для предвычисления затмений) (Климишин, стр. 51)

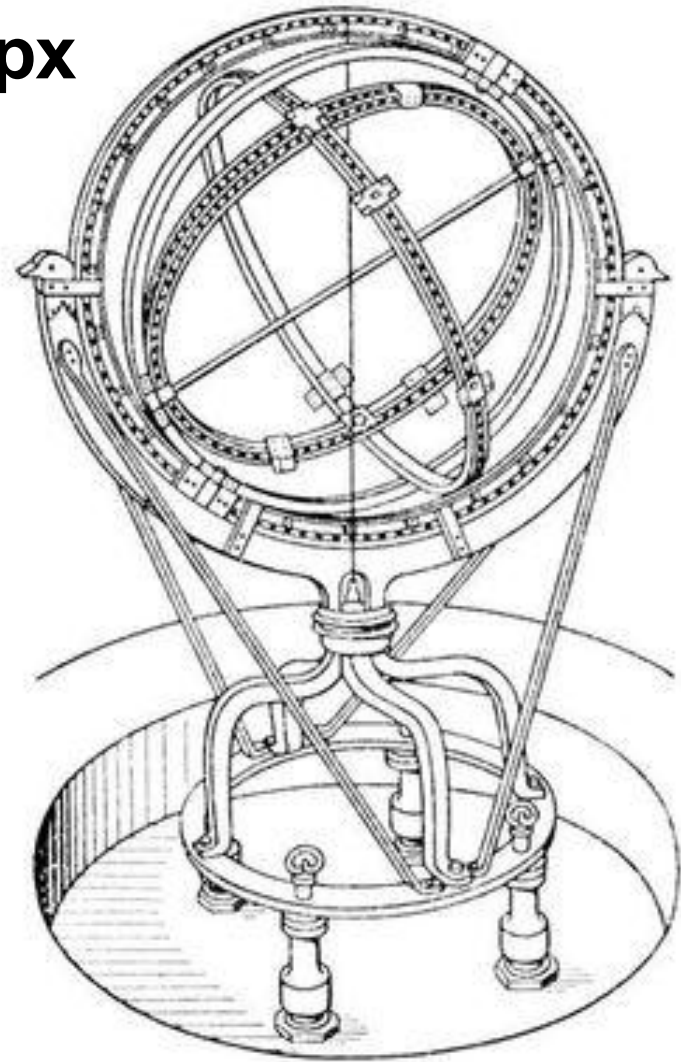
Гиппарх

Каталог

(от наблюдений “новых”)

- ✓ 850 объектов (долгота и широта)
- ✓ Звездные величины!

(Климишин, стр. 52,
слова Деламбра)



Птолемей ((127-141) - 168 гг. н.э.)

Наблюдения проводил в Египте

“Математикес синтаксеос библиа 13”

“Мегале синтаксеос”

“Мэгисте”

“Альмагест” (Климишин, стр. 53, эпиграф)

13 книг; **первое** типографское издание – **1515 г.** –
Венеция, латынь (перевод с арабского)

Греческие переводы

Одно из первых изданий на немецком - **1912 г.** - Лейпциг –
908 страниц!

Птолемей

1-ая книга – основные принципы (по Аристотелю) -
(Климишин, стр. 53 - примеры)

2-ая книга – основы сферической астрономии

3-ья книга – теория годичного движения Солнца

4-ая книга – теория движения Луны

...

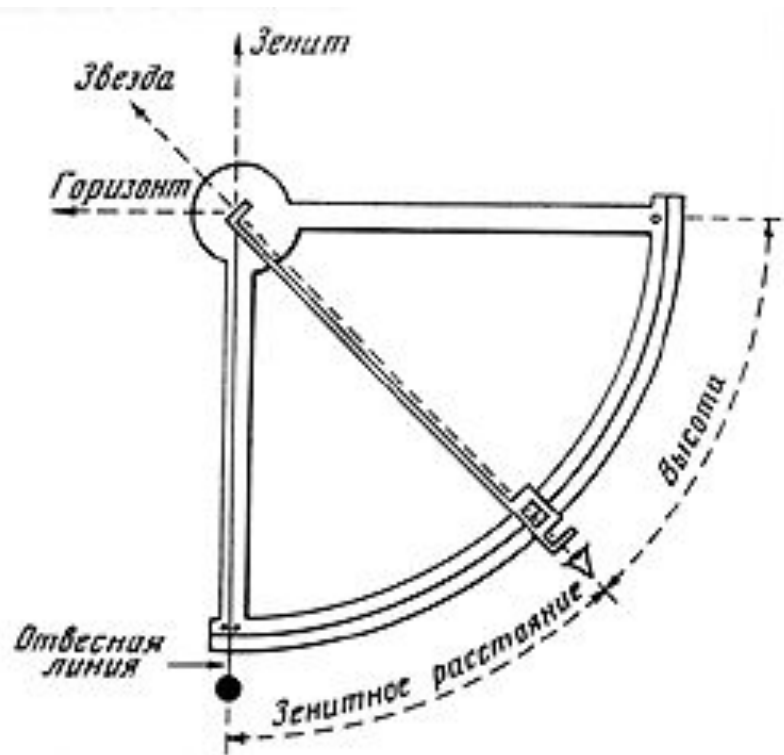
7-ая и 8-ая книги – каталог 1022 звезд

Остальные - теория планетных движений

История астрономии

Геоцентрическая система мира Птолемея

Птолемей



Принципиальная
схема квадранта
Клавдия Птолемея

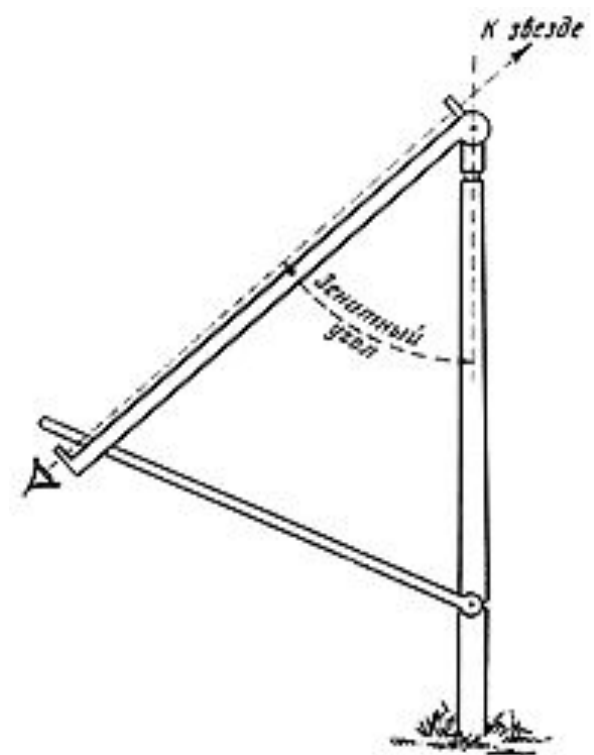
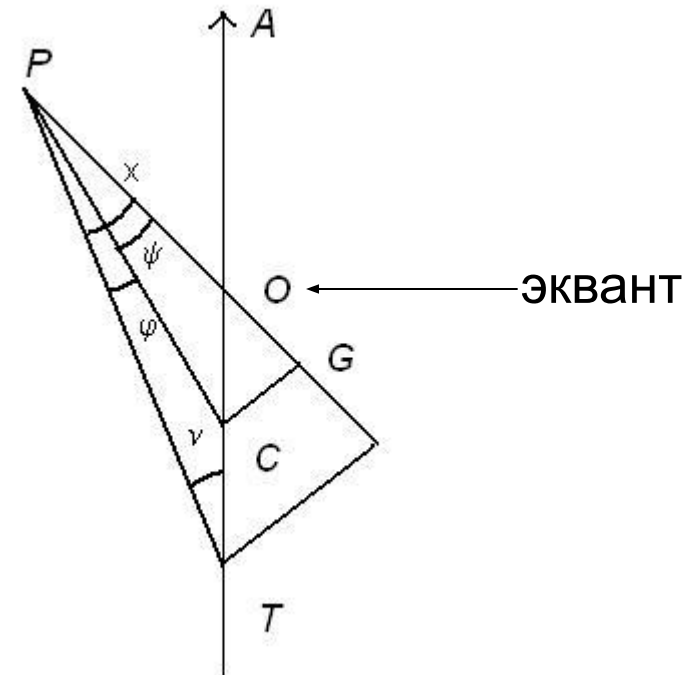
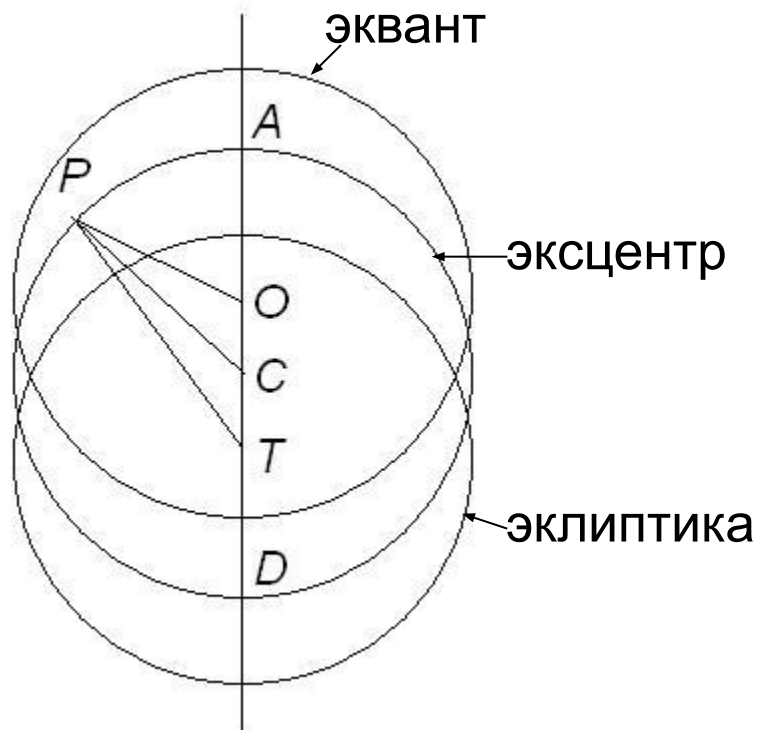


Схема триветрума Клавдия
Птолемея ("параллактическая
линейка")

История астрономии

Геоцентрическая система мира Птолемея

Птолемей - Схема “бисекции угла”



Птолемей - Схема “бисекции угла”

$$x = 2e \sin M - (5/4) e^2 \sin 2M ,$$

Кеплерова орбита

$$r/a = 1 + e^2/2 + e \cos M - (e^2/2) \cos 2M .$$

$$x = 2e \sin M - 2e^2 \sin 2M ,$$

Гипотеза простого
эксцентриситета

$$r/a = 1 + e^2 + 2e \cos M - e^2 \cos 2M .$$

$$x = 2e \sin M - e^2 \sin 2M ,$$

Схема бисекции угла

$$r/a = 1 + (3/4) e^2 + e \cos M - (3/4) e^2 \cos 2M .$$

Птолемей - Схема “бисекции угла”

$$\delta x = (3/4) e^2 \sin 2M ,$$

Ошибки в гипотезе простого
эксцентриситета

$$\delta(r/a) = -e \cos M - (e^2/2) (1 - \cos 2M) .$$

$$\delta x = -(e^2/4) \sin 2M ,$$

Ошибки в схеме бисекции
угла

$$\delta(r/a) = -(e^2/4) (1 - \cos 2M) .$$

История астрономии

Геоцентрическая система мира Птолемея

Птолемей

Схема эпициклического движения – “второе неравенство”

Наличие петель в видимых траекториях планет

(Апполоний Пергамский –

ок. 200 г. до н. э. –

возможность замены

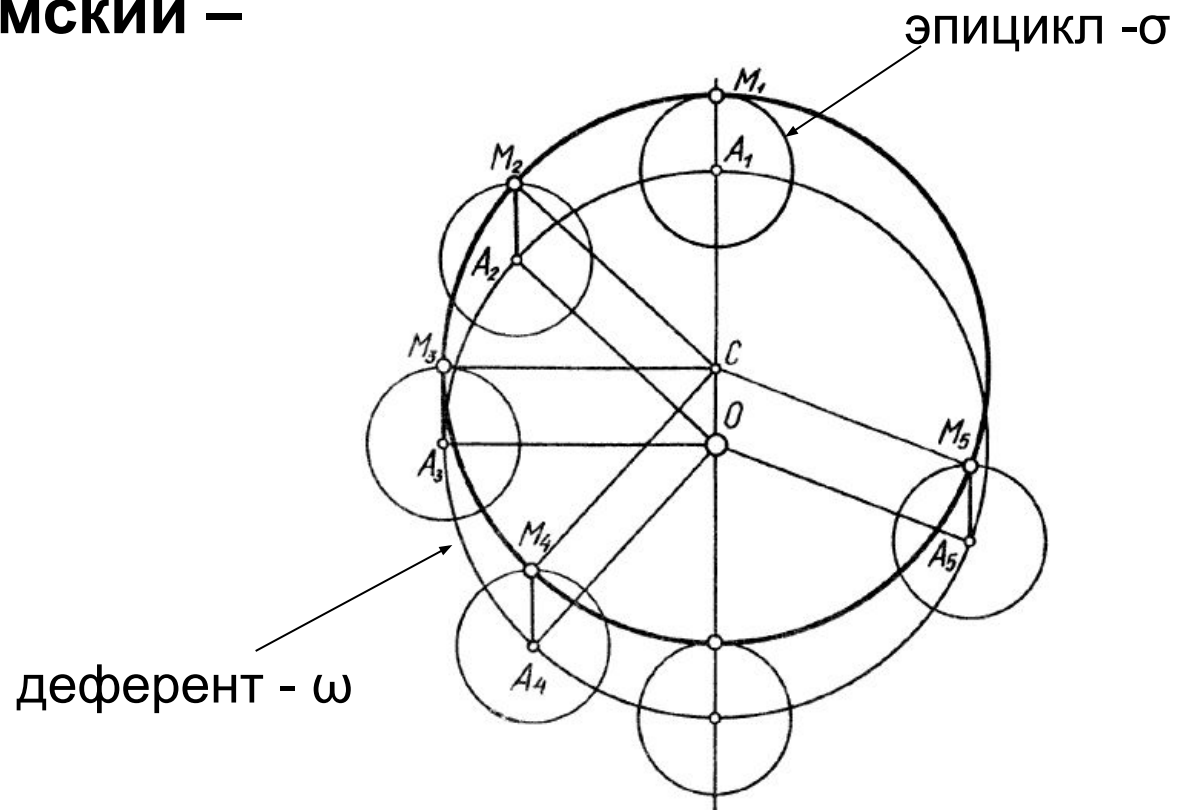
эксцентричного

движения

равномерным

эпициклическим

движением)



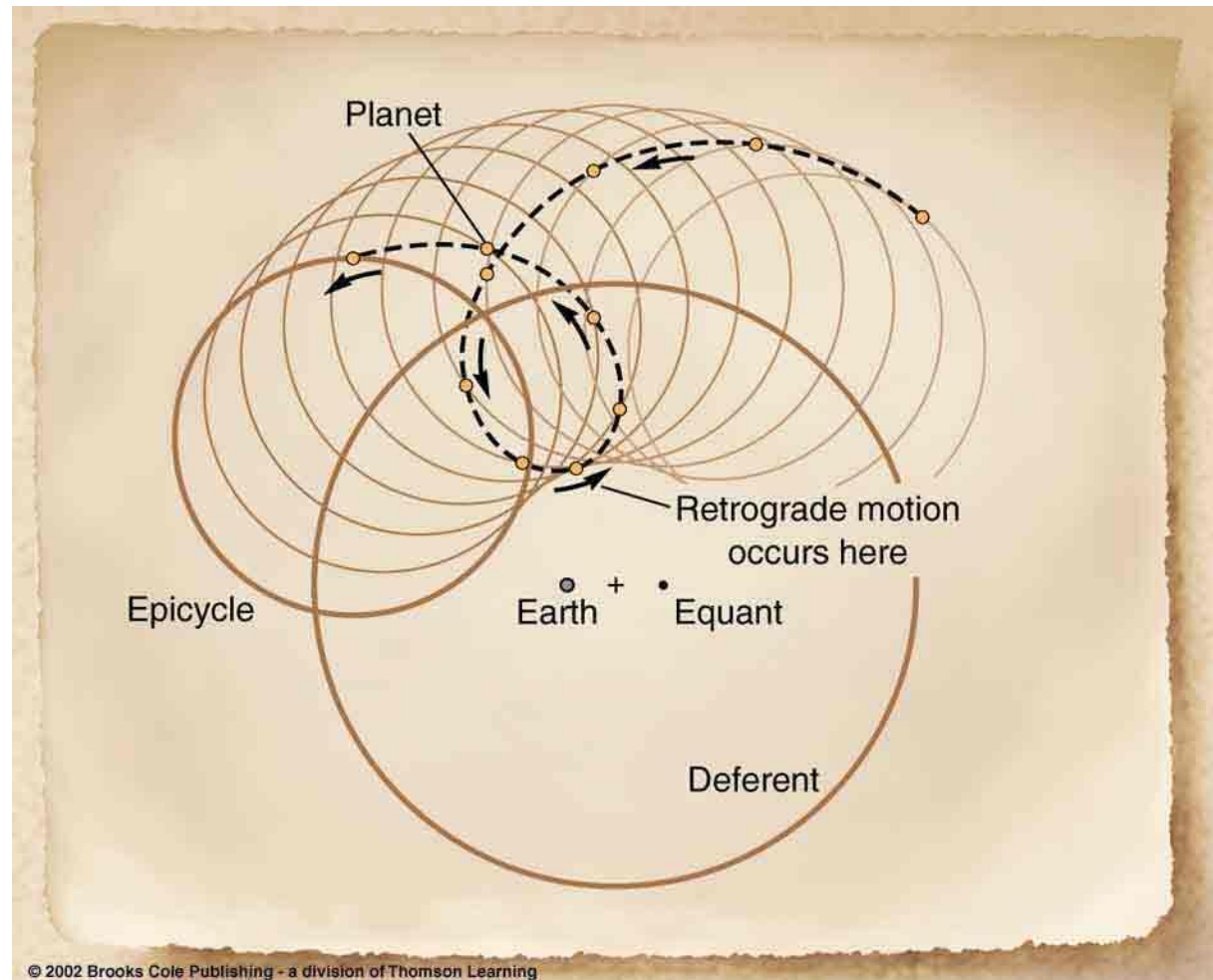
История астрономии

Геоцентрическая система мира Птолемея

Птолемей

Схема эпициклического движения – “второе неравенство”

Наличие
петель в
видимых
тректориях
планет.



История астрономии

Геоцентрическая система мира Птолемея

Птолемей

Система мира по Птолемею

(Горбацкий, стр. 57,
слова Идельсона)

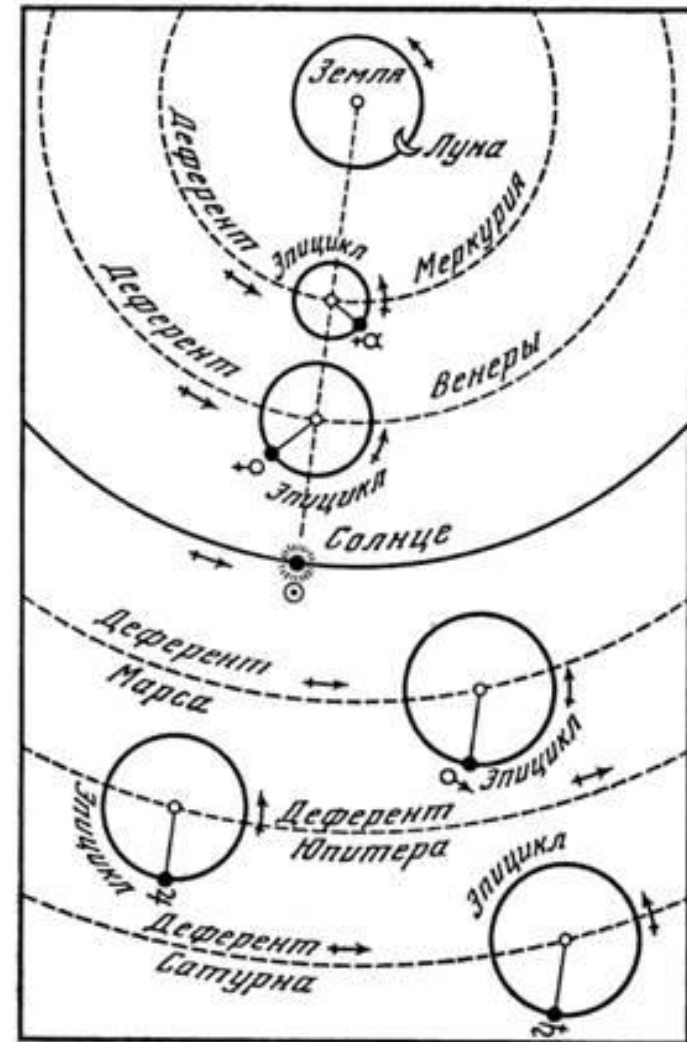


Рис. 24.
Система мира Птолемея