

### “Ионийское пробуждение”



### “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.)

- ✓ Попытка 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 заморожены миром чисел. Особенно их занимали правильные многогранники - **5**

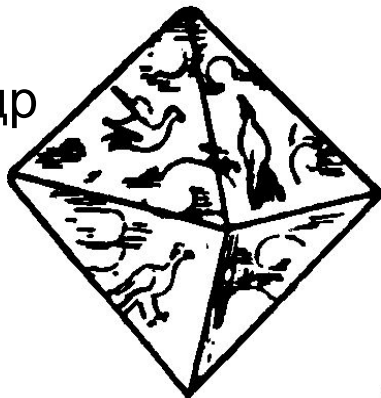
Связь с четырьмя “элементами”

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

### “Пифагорейцы”

### Правильные многогранники

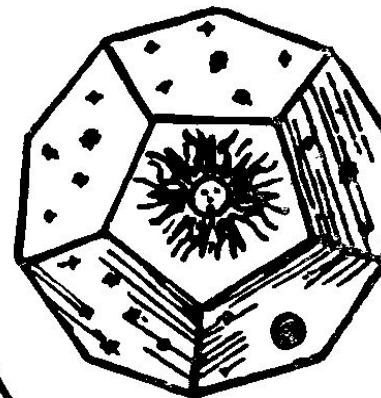
октаэдр



пирамида,  
или  
тетраэдр



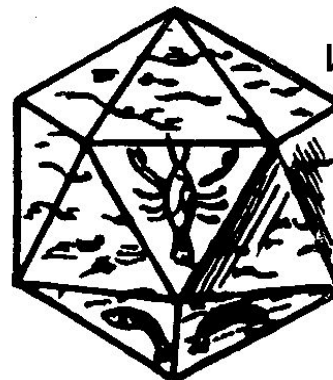
додекаэдр



куб



икосаэдр





“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

# История астрономии

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

### 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 –  $23.5^\circ$ ); 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)

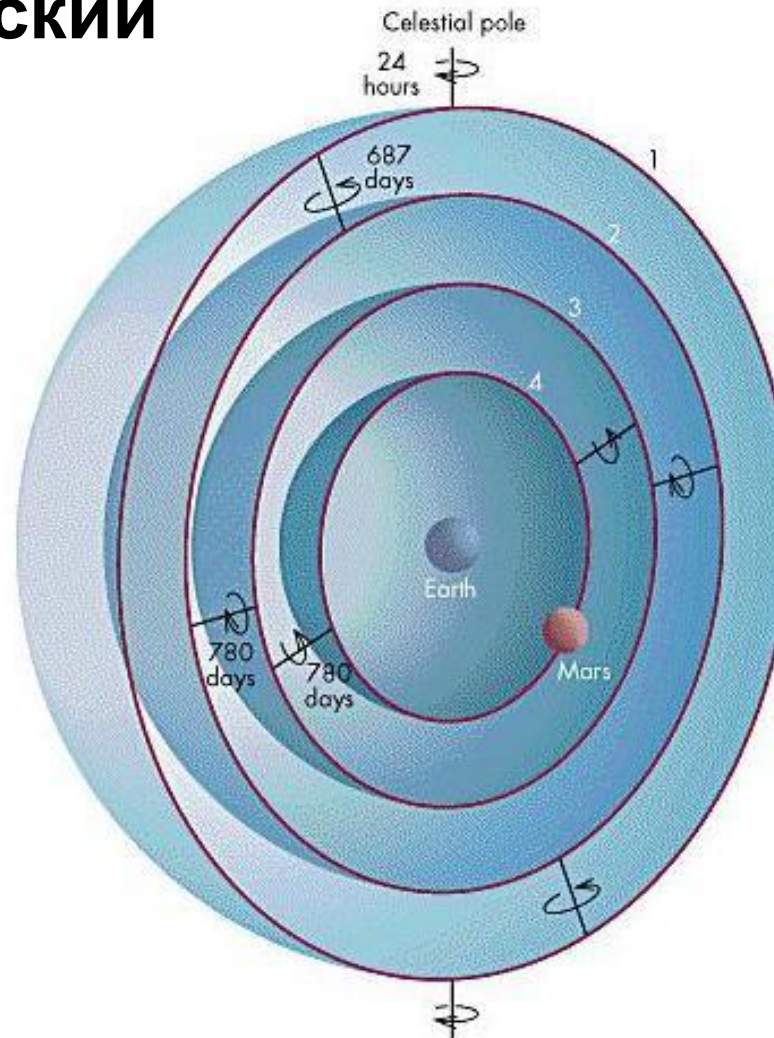
Всего 27 сфер ( $3+3+5*4+1$ )

# 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**

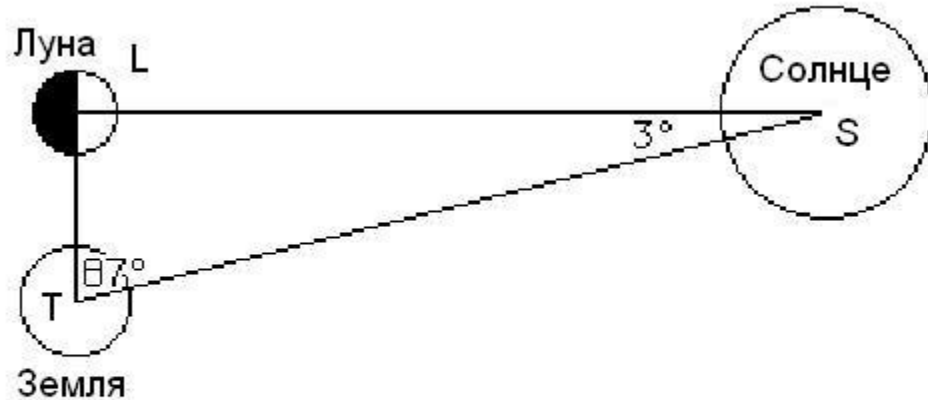
**(Саган, стр. 285 – связь с Коперником)**



## Аристарх Самосский

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

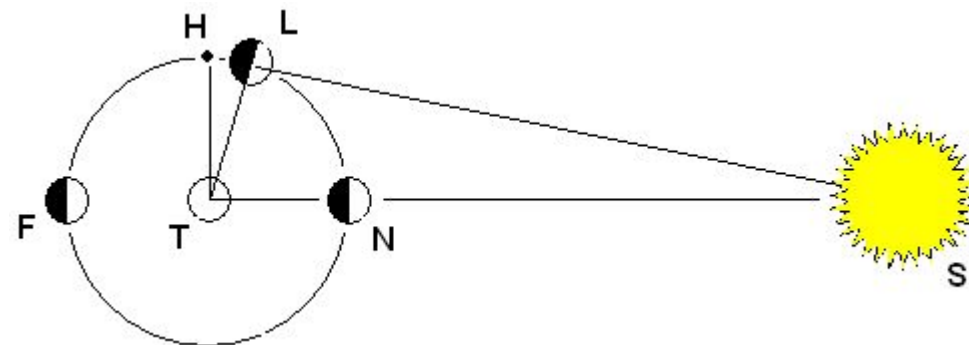
- ✓ Догадался, как можно установить расстояния в системе Солнце-Земля-Луна.



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

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

(в 15 раз!)



## Аристарх Самосский

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

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

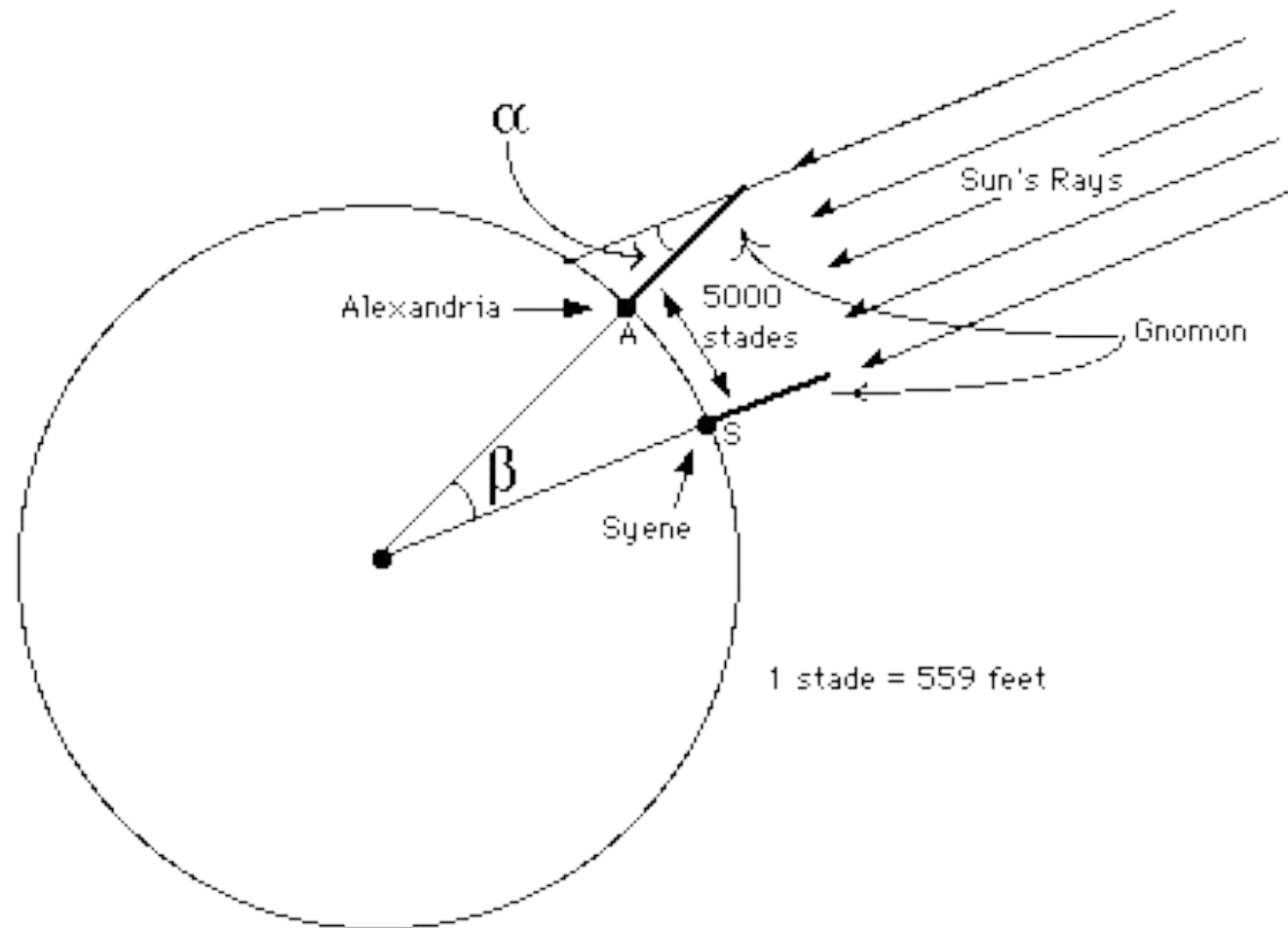
Расстояние (угловое) между Александрией и Сиеной должно быть примерно  $1/50$  полной окружности ( $\approx 7^\circ$ )

Расстояние между городами  $\approx 5000$  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”

$M = M_0 + \mu (t - t_0)$  - аномалия

$L = M + \Pi = L_0 + \mu (t - t_0)$  – средняя долгота Солнца

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

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

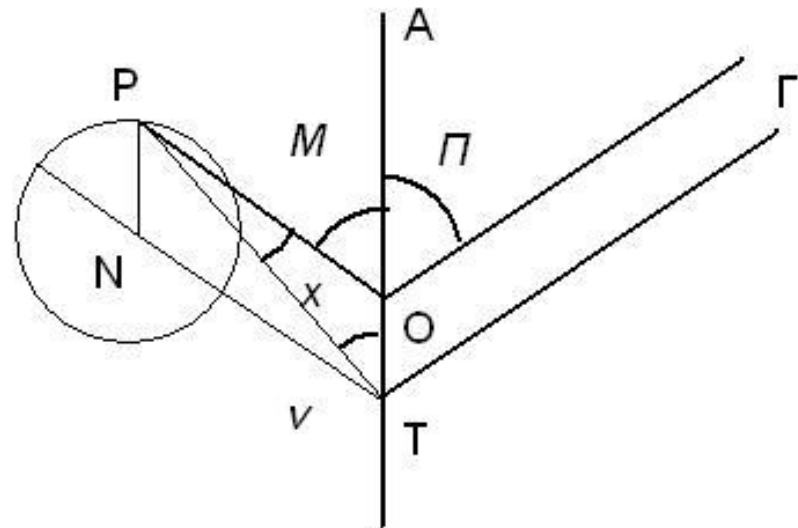
$v = \lambda - \Pi$

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

$OT / OP = \varepsilon$  – 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:  $4 \times 19$  тр. лет = 27 759 сут. (погрешность 22 сек.)
  - Гиппарх:  $4 \times 76$  тр. лет = 111 035 сут. (погрешность 0.3 сек.)
- ✓ Установил, что путь Луны на небесной сфере наклонен к эклиптике под углом  $5^{\circ}$
- ✓ Луна, как и Солнце, движется неравномерно (та же теория эксцентров)
- ✓ 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)

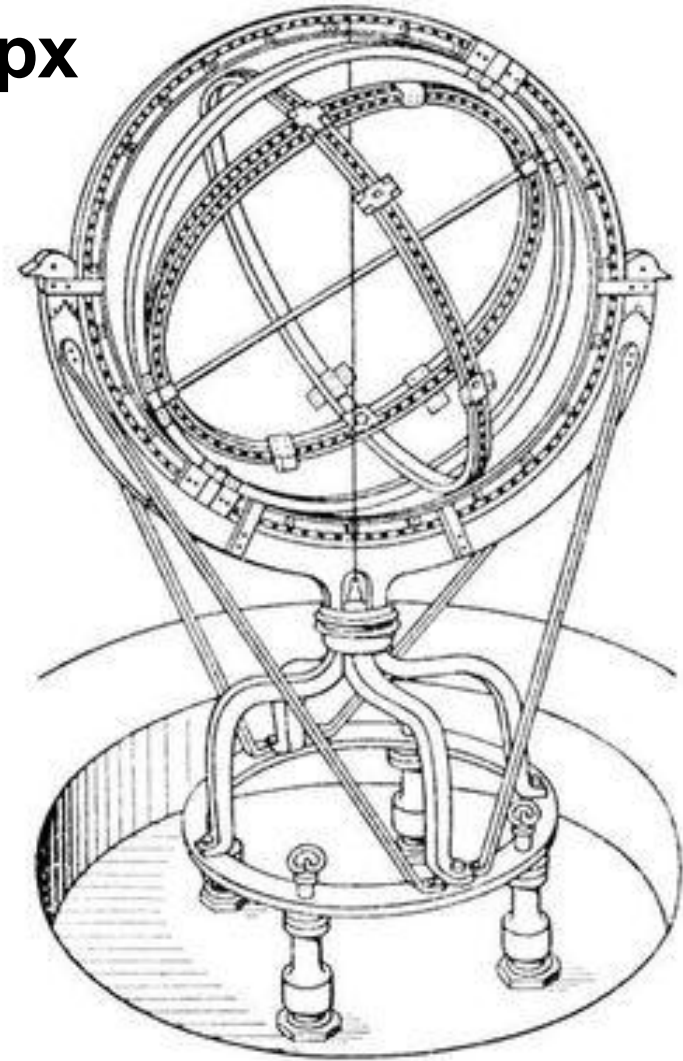
## Гиппарх

### 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

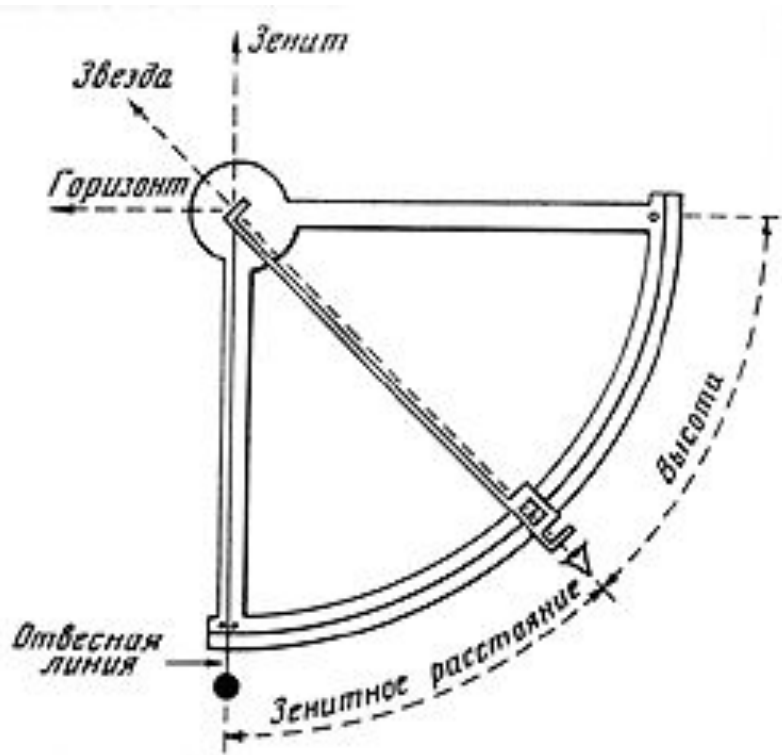
4-ая книга – теория движения Луны

...

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

Остальные - теория планетных движений

## Птолемей



Принципиальная  
схема квадранта  
Клавдия Птолемея

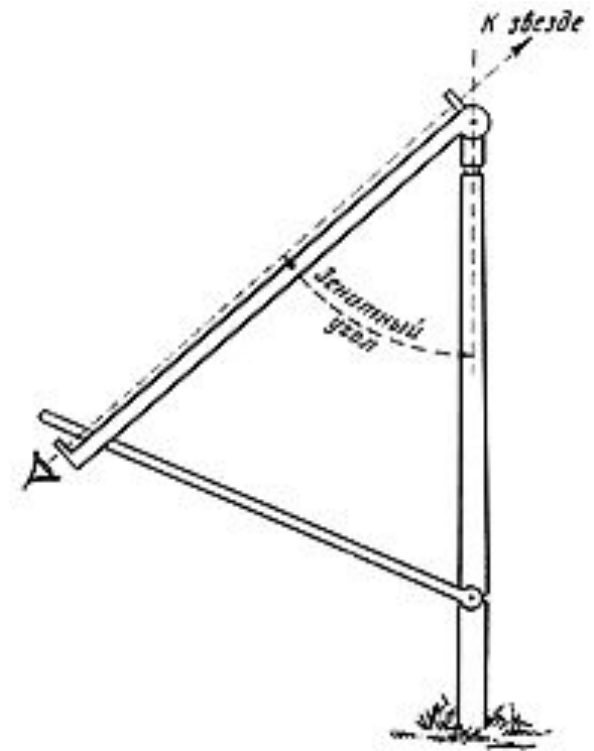
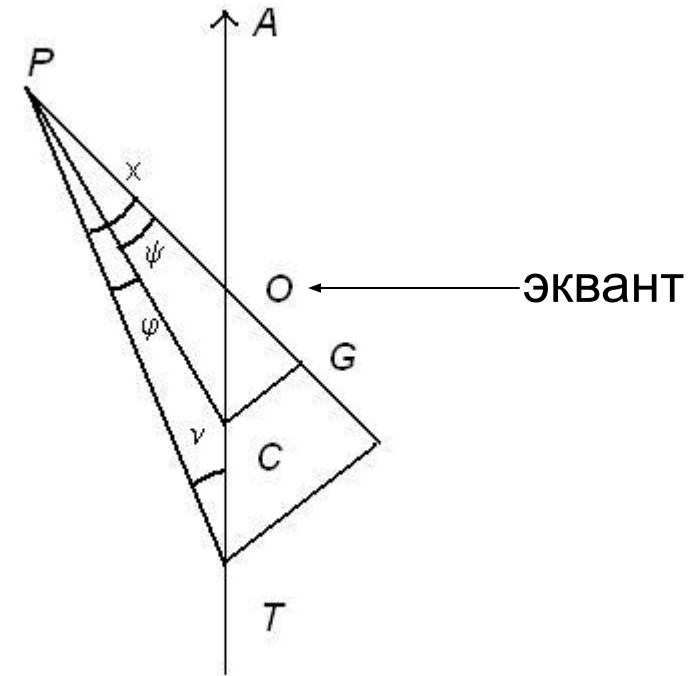
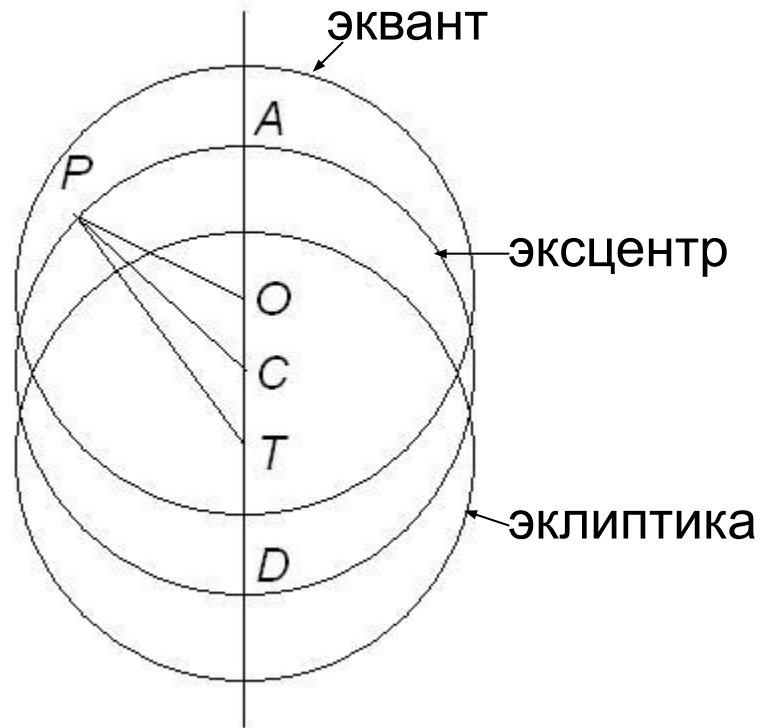


Схема триветрума Клавдия  
Птолемея ("параллактическая  
линейка")

# 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**

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

### Птолемей

#### Схема эпициклического движения – “второе неравенство”

Наличие петель в видимых траекториях планет

(Апполоний Пергамский –

ок. 200 г. до н. э. –

возможность замены

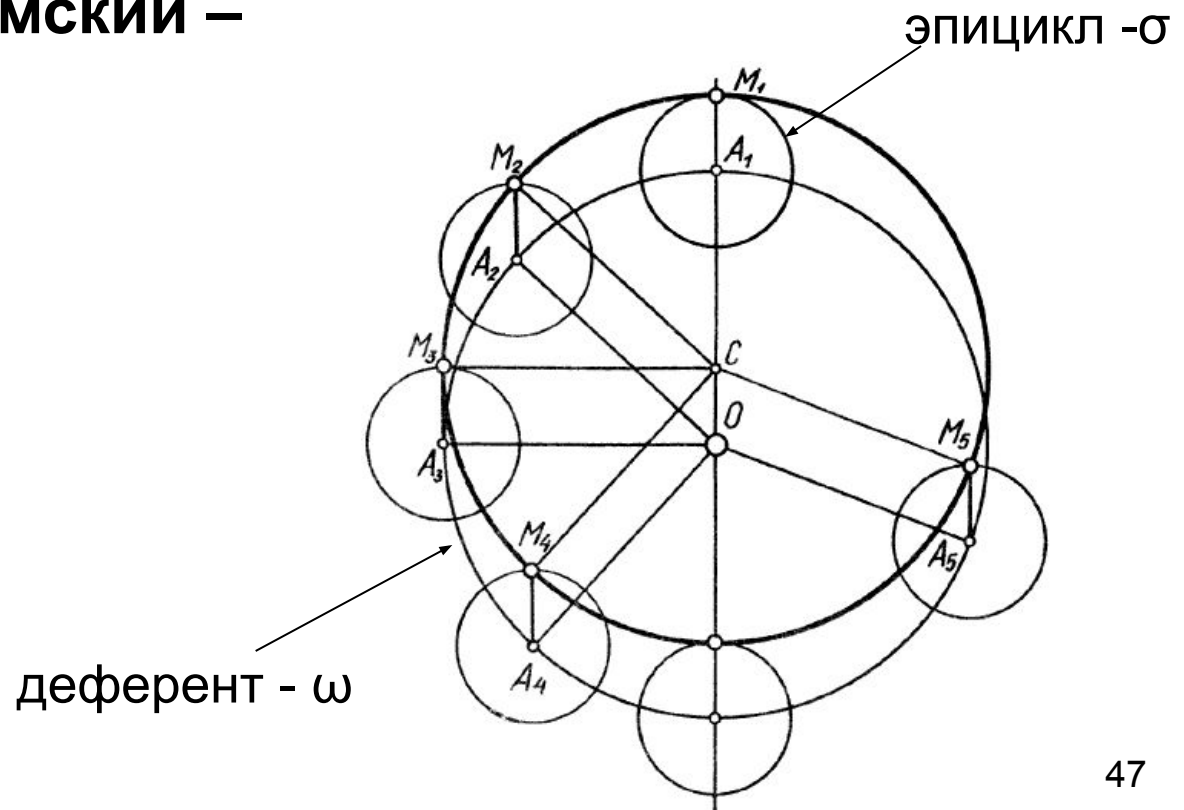
эксцентричного

движения

равномерным

эпициклическим

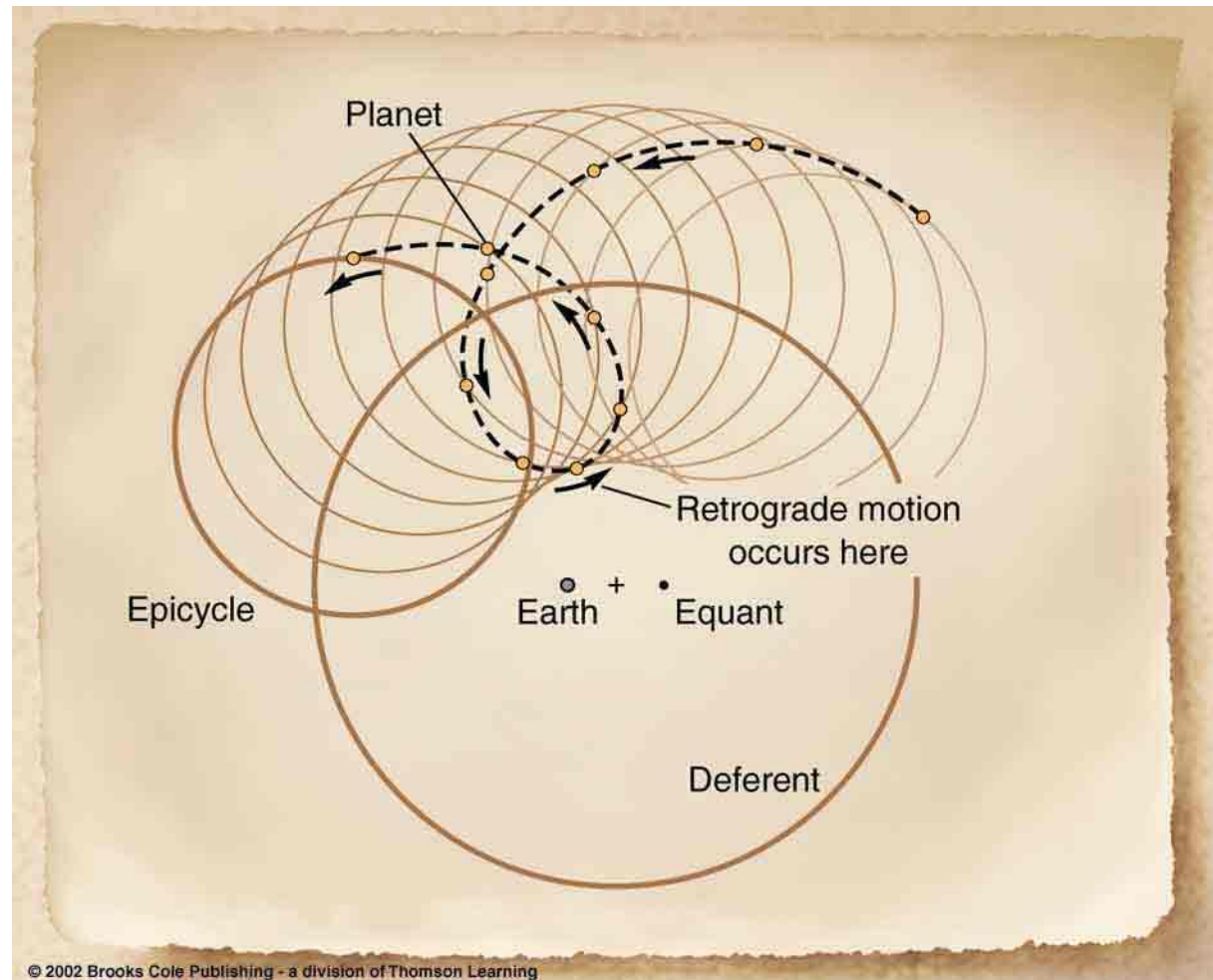
движением)



### Птолемей

#### Схема эпициклического движения – “второе неравенство”

Наличие петель в видимых траекториях планет.





# Птолемей

## Система мира по Птолемею

(Горбацкий, стр. 57,  
слова Идельсона)

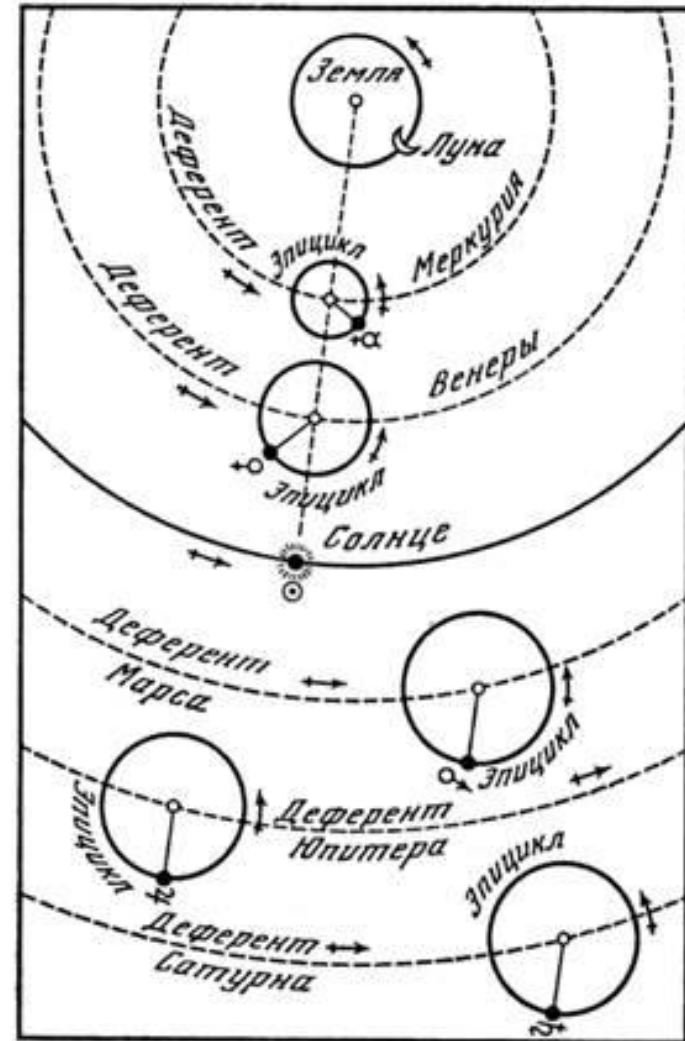


Рис. 24.  
Система мира Птолемея