


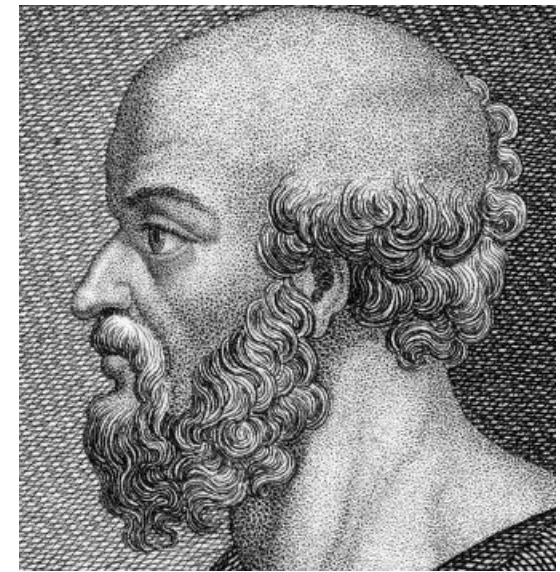
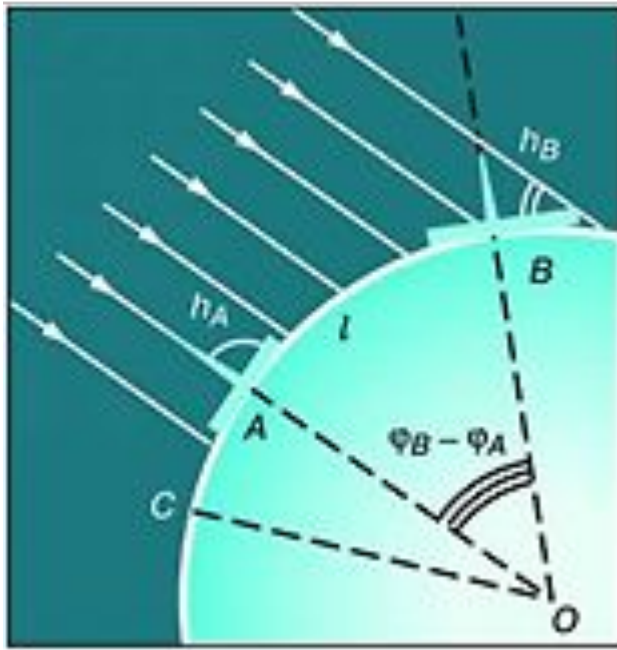
# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ ТЕЛ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

A detailed illustration of the solar system. On the left, a large, bright yellow Sun is partially visible. Several planets are shown in their respective orbits around the Sun. From left to right, the planets are: Mercury (small, greyish-brown), Venus (yellowish), Earth (blue and white), Mars (reddish), Jupiter (large, orange and white striped), Saturn (reddish with prominent rings), Uranus (pale green), and Neptune (dark blue). Two asteroid belts are depicted as rings of small grey rocks between the inner and outer planets. The background is a dark space filled with numerous white and blue stars.

10-11 класс  
УМК Б.А.Воронцова-Вельяминова

# Форма и размеры Земли

Греческий учёный Эратосфен, живший в Египте, провёл первое достаточно точное определение размеров Земли.



Эратосфен  
(276 -194 г. до н.э.)

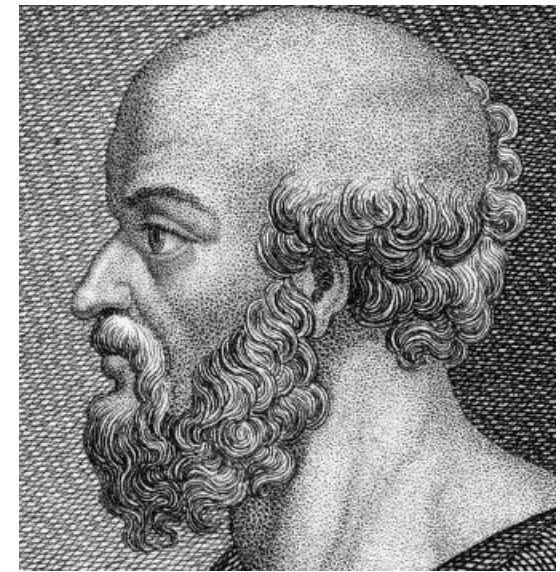
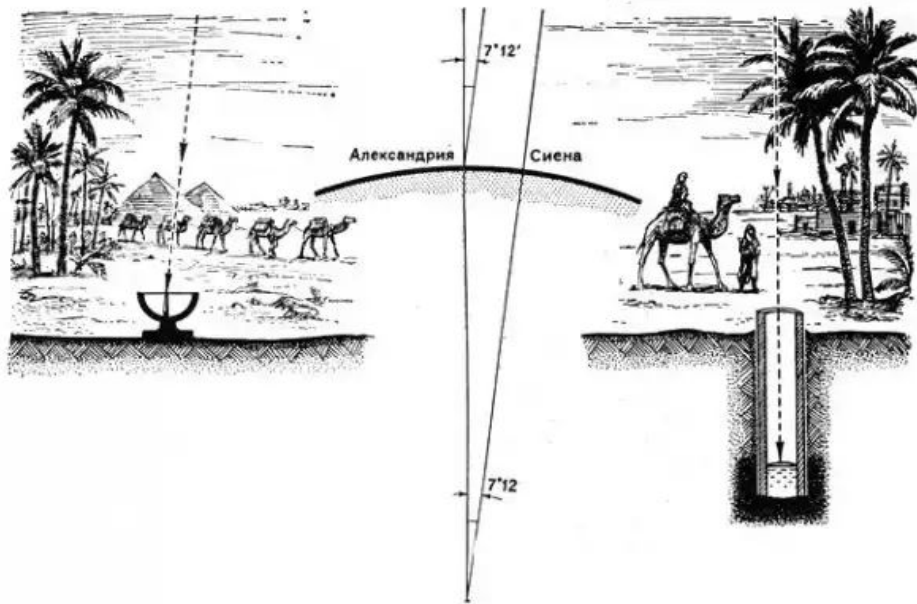
Способ Эратосфена:

- измерить длину дуги земного меридиана в линейных единицах и определить, какую часть полной окружности эта дуга составляет;
- получив эти данные, вычислить длину дуги в  $1^\circ$ , а затем длину окружности и величину ее радиуса, т. е. радиуса земного шара.

Длина дуги меридиана в градусной мере равна разности географических широт двух пунктов:  $\varphi_B - \varphi_A$ .



Греческий учёный Эратосфен, живший в Египте, провёл первое достаточно точное определение размеров Земли.



Эратосфен  
(276 -194 г. до н.э.)

Чтобы определить разность географических широт, Эратосфен сравнил полуденную высоту Солнца в один и тот же день в двух городах, находящихся на одном меридиане.

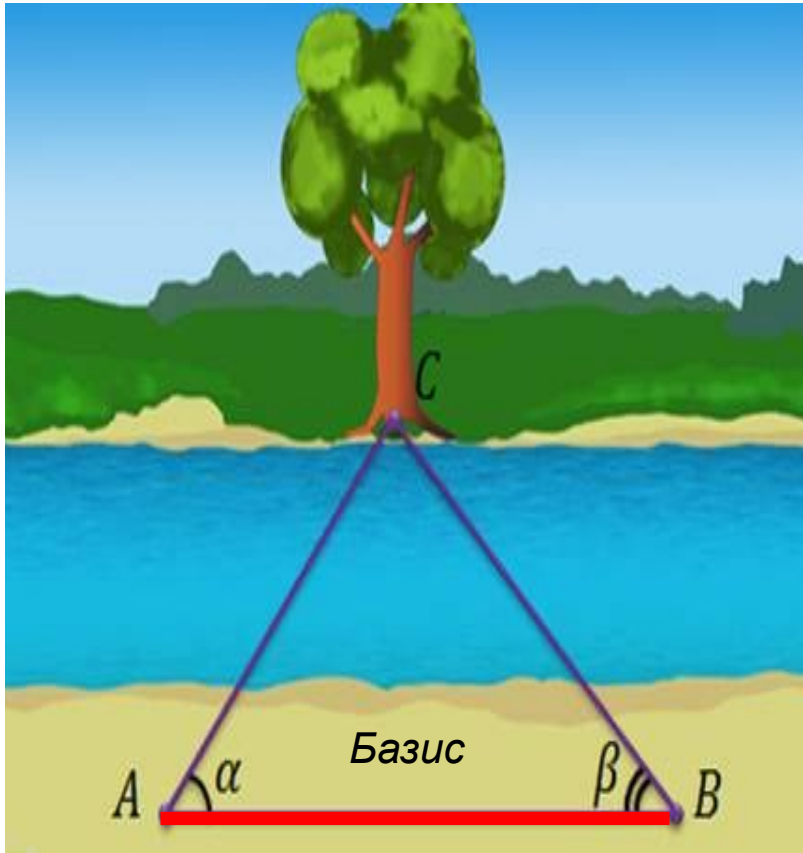
*В полдень 22 июня в Александрии Солнце отстоит от зенита на  $7,2^\circ$ . В этот день в полдень в городе Сиена (ныне Асуан) Солнце освещает дно самых глубоких колодцев, т. е. находится в зените. Следовательно, длина дуги составляет  $7,2^\circ$ . Расстояние между Сиеной и Александрией (800 км) у Эратосфена равна 5000 греческих стадий, т.е. 1 стадия = 160 м.*

$\frac{L}{5000} = \frac{360^\circ}{7,2^\circ}$ ,  $L=250\ 000$  стадий или 40 000 км, что соответствует современным измерениям длины окружности земного шара.

**Вычисленный радиус Земли по Эратосфену составил 6 287 км.**

**Современные измерения дают для усреднённого радиуса Земли величину 6 371 км.**

Параллактическим смещением называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя.



Способ, основанный на явлении параллактического смещения и предусматривающий вычисление расстояния на основе измерений длины одной из сторон (базиса – АВ) и двух углов А и В в треугольнике АСВ, применяется, если оказывается невозможным непосредственное измерение кратчайшего расстояния между пунктами.

Чем дальше расположен предмет, тем меньше его параллактическое смещение, и чем больше перемещение наблюдателя (базис измерения), тем больше параллактическое смещение

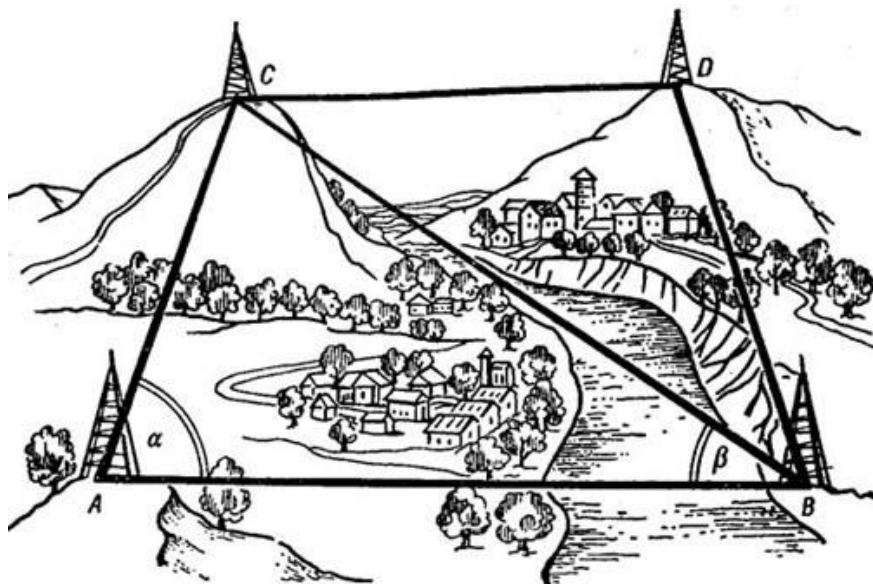
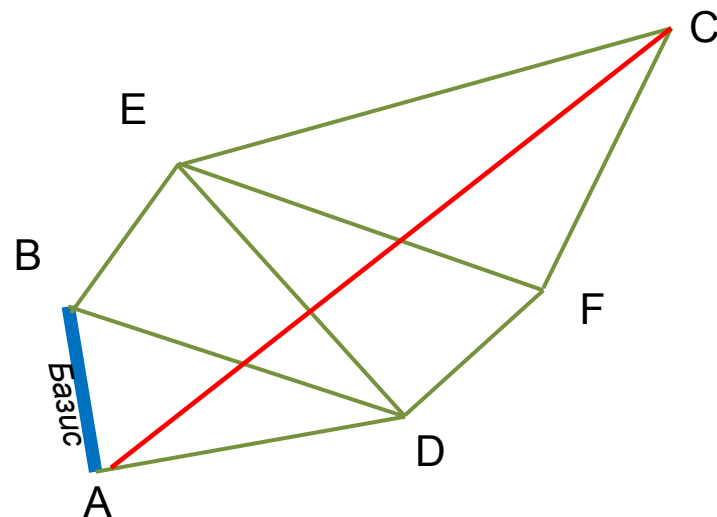


Схема выполнения триангуляции

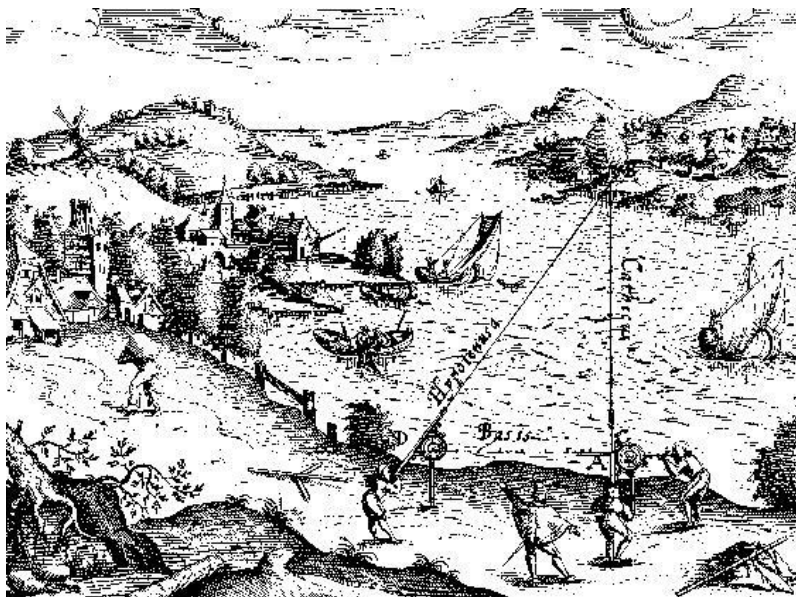


Для определения **длины дуги** используется система треугольников – **способ триангуляции**, который впервые был применен еще в 1615 г.

Пункты в вершинах этих треугольников выбираются по обе стороны дуги на расстоянии 30—40 км друг от друга так, чтобы из каждого пункта были видны по крайней мере два других.

Точность измерения базиса длиной в 10 км составляет около 1 мм.

Измерив с помощью угломерного инструмента (теодолита) углы в треугольнике, одной из сторон которого является базис, геодезисты получают возможность вычислить длину двух других его сторон.



Триангуляция, рисунок XVI века





В какой степени форма Земли отличается от шара, выяснилось в конце XVIII в.

Для уточнения формы Земли Французская академия наук снарядила две экспедиции: в экваториальные широты Южной Америки в Перу и на территории Финляндии и Швеции вблизи Северного полярного круга .

Измерения показали, что длина одного градуса дуги меридиана на севере больше, чем вблизи экватора.

Это означало, что форма Земли – не идеальный шар: она сплюснута у полюсов. Ее полярный радиус на 21 км короче экваториального.



Для школьного глобуса масштаба 1: 50 000 000 отличие этих радиусов будет всего 0,4 мм, т. е. совершенно незаметно.

Отношение разности величин экваториального и полярного радиусов Земли к величине экваториального называется *сжатием*. По современным данным, оно составляет  $1/298$ , или 0,0034, т.е. сечение Земли по меридиану будет *эллипсом*.





В XX в. благодаря измерениям, точность которых составила 15 м, выяснилось, что земной экватор также нельзя считать окружностью.

Сплюснутость экватора составляет всего 1/30 000 (в 100 раз меньше сплюснутости меридиана).

Более точно форму нашей планеты передает фигура, называемая *эллипсоидом*, у которого любое сечение плоскостью, проходящей через центр Земли, не является окружностью.

В настоящее время форму Земли принято характеризовать следующими величинами:

*сжатие эллипсоида – 1 : 298,25;*

*средний радиус – 6371,032 км;*

*длина окружности экватора – 40075,696 км.*

Определение расстояний в  
Солнечной системе.  
Горизонтальный параллакс

Измерить расстояние от Земли до Солнца удалось лишь во второй половине XVIII в., когда был впервые определен горизонтальный параллакс Солнца.

**Горизонтальным параллаксом** ( $p$ ) называется угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения.



$$D = \frac{R}{\sin p}$$

Чем дальше расположен объект, тем меньше его параллакс.

Наибольшее значение имеет параллакс Луны, который в среднем составляет 57'.

Значению параллакса Солнца 8,8" соответствует расстояние равное 150 млн км.

**Одна астрономическая единица (1 а. е.) равна 150 млн км.**

Для малых углов, выраженных в радианах,  $\sin p \approx p$ .

1 радиан = 206 265"

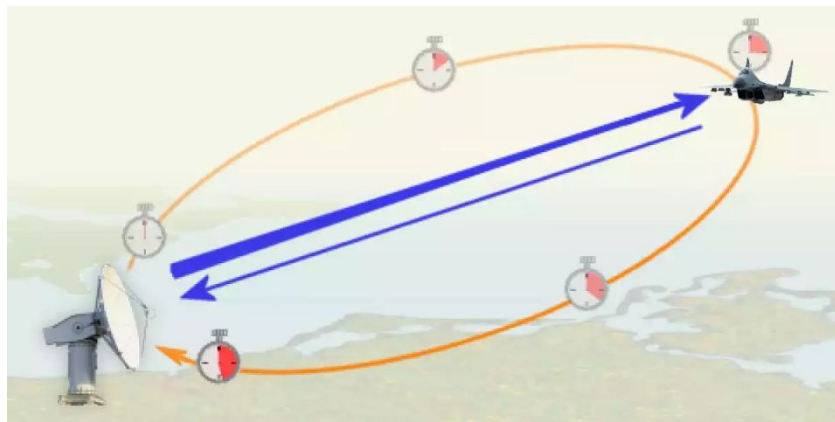
$$D = \frac{206\,265''}{p} R, \quad \text{или}$$

$$D = \frac{(2 \cdot 10^5)''}{p} R$$



Во второй половине XX в. развитие радиотехники позволило определять расстояния до тел Солнечной системы посредством **радиолокации**.

Первым объектом среди них стала Луна. На основе радиолокации Венеры величина астрономической единицы определена с точностью порядка километра.



В настоящее время благодаря использованию лазеров стало возможным провести **оптическую локацию** Луны.

При этом расстояния до лунной поверхности измеряются с точностью до сантиметров.

### Пример решения задачи

На каком расстоянии от Земли находится Сатурн, когда его горизонтальный параллакс равен  $0,9''$ ?

Дано:

$$p_1 = 0,9''$$

$$D_{\square} = 1 \text{ а.е.}$$

$$p_{\square} = 8,8''$$

$$D_1 - ?$$

Решение:

$$D_1 = \frac{(2 \cdot 10^5)''}{p_1} R, \quad D_{\odot} = \frac{(2 \cdot 10^5)''}{p_{\odot}} R, \quad \frac{D_1}{D_{\odot}} = \frac{p_{\odot}}{p_1}$$

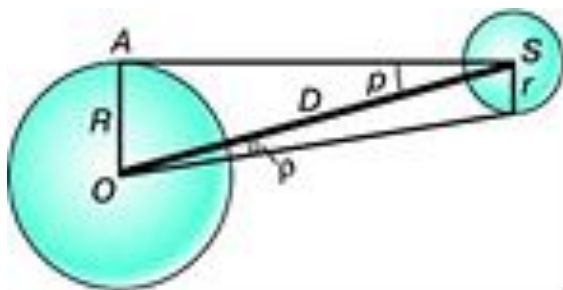
$$D_1 = \frac{D_{\odot} p_{\odot}}{p_1} = \frac{1 \text{ а.е.} \cdot 8,8''}{0,9''} = 9,8 \text{ а.е.}$$

Ответ:  $D_1 = 9,8 \text{ а.е.}$

# Определение размеров светил

Зная расстояние до светила, можно определить его линейные размеры, если измерить его угловой радиус  $\rho$ . Формула, связывающая эти величины, аналогична формуле для определения параллакса:

$$D = \frac{R}{\sin \rho}$$



Учитывая, что угловые диаметры даже Солнца и Луны составляют примерно  $30'$ , а все планеты видны невооруженному глазу как точки, можно воспользоваться соотношением:  $\sin \rho \approx \rho$ .

Тогда:  $D = \frac{R}{\rho}$  и  $D = \frac{r}{\rho}$

Следовательно,  $r = \frac{\rho}{D} R$

Если расстояние  $D$  известно, то  $r = D \rho$ , где величина  $\rho$  выражена в радианах.

### Пример решения задачи

Чему равен линейный диаметр Луны, если она видна с расстояния 400 000 км под углом примерно  $30'$ ?

Дано:

$$D = 400000 \text{ км}$$

$$\rho = 30'$$

$d - ?$

Решение:

Если  $\rho$  выразить в радианах, то  $r = D \rho$

$$d = \frac{400\,000 \text{ км} \cdot 30' \cdot 60''}{206\,265''} = 3490 \text{ км.}$$

Ответ:  $d = 3490 \text{ км.}$



## Вопросы

- 1. Какие измерения, выполненные на Земле, свидетельствуют о ее сжатии?*
- 2. Меняется ли и по какой причине горизонтальный параллакс Солнца в течение года?*
- 3. Каким методом определяется расстояние до ближайших планет в настоящее время?*

## Домашнее задание

1) Конспект презентации

2) Упражнение

1. Чему равен горизонтальный параллакс Юпитера, наблюдаемого с Земли в противостоянии, если Юпитер в 5 раз дальше от Солнца, чем Земля?

2. Расстояние Луны от Земли в ближайшей к Земле точке орбиты (перигее) 363 000 км, а в наиболее удаленной (апогее) – 405 000 км. Определите горизонтальный параллакс Луны в этих положениях.

3. Во сколько раз Солнце больше, чем Луна, если их угловые диаметры одинаковы, а горизонтальные параллаксы равны  $8,8''$  и  $57'$  соответственно?

4. Чему равен угловой диаметр Солнца, видимого с Нептуна?