



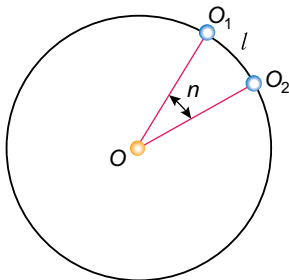
### Контрольные вопросы и задания

1. Какие задачи решает небесная механика?
2. Сформулируйте закон всемирного тяготения. Каковы особенности в использовании данного закона для проведения расчетов?
3. Как понимают в астрономии «задачу двух тел»? «Задачу трех тел»?
4. Как Ньютон обобщил законы Кеплера?
5. Определите массу планеты Уран (в массах Земли), если известно, что спутник Урана Титания обращается вокруг него с периодом 8,7 сут на среднем расстоянии 438 тыс. км. Для Луны эти величины равны соответственно 27,3 сут и 384 тыс. км.
6. Определите среднюю плотность Солнца, если период обращения Земли вокруг Солнца принять равным 365 сут. При расчетах принять радиус земной орбиты равным 150 млн км, а радиус Солнца — 700 тыс. км.
7. Определите ускорение силы тяжести на поверхности Марса, если известно, что масса Марса равна  $6,4 \cdot 10^{23}$  кг, а его радиус равен 3396 км.
8. Во сколько раз меньше будет весить человек на Марсе, чем на Земле, если масса Марса равна  $6,4 \cdot 10^{23}$  кг, а его радиус равен 3396 км?

## § 10. Определение размеров небесных тел и расстояний до них в Солнечной системе

**1. Определение размеров Земли.** Первый известный науке метод определения размеров Земли применил греческий ученый Эратосфен. Он выбрал два города, лежащих на одном и том же географическом меридиане земного шара, — Александрию ( $O_1$ ) и Сиену ( $O_2$ ) (рис. 41). Из рисунка видно, что если обозначить длину дуги меридиана  $O_1O_2$  через  $l$ , а ее угловое значение через  $n$  (в градусах), то длина дуги  $1^\circ$  меридиана  $l_0$  будет равна:

$$l_0 = \frac{l}{n},$$



а длина всей окружности меридиана:

$$L = 360^\circ \cdot l_0 = \frac{360^\circ \cdot l}{n} = 2\pi R,$$

где  $R$  — радиус земного шара. Отсюда

$$R = \frac{180^\circ \cdot l}{\pi n}.$$

Рис. 41. Вычисление радиуса Земли

Длина дуги меридиана между выбранными на земной поверхности точками  $O_1$  и  $O_2$  в градусах равна разности географических широт этих точек, т. е.  $n = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ .

Длина дуги  $l$  — расстояние между Александрией и Сиеной — была хорошо известна. Угол  $n$  Эратосфен измерил, используя то обстоятельство, что Сиена лежит на тропике Рака и в день летнего солнцестояния Солнце в полдень здесь наблюдалось в зените. А в Александрии Солнце до зенита не доходило и шест, врытый перпендикулярно в землю, отбрасывал тень. Измерив длину этой тени, Эратосфен получил значение  $n = 7,2^\circ$  и длину окружности  $L$  примерно 45 тыс. км (современное значение 40 тыс. км).

Современная геодезия располагает точными методами для измерения расстояний на земной поверхности. Определение расстояния  $l$  между точками  $O_1$  и  $O_2$  (см. рис. 41) затруднено наличием естественных препятствий (гор, рек, лесов и т. п.). Поэтому длина дуги  $l$  определяется путем вычислений, требующих измерения только сравнительно небольшого расстояния — **базиса** ( $O_1A$ ) — и ряда углов (рис. 42). Этот метод разработан в геодезии и называется **триангуляцией** (от лат. *triangulum* — треугольник).

Суть его состоит в следующем. По обе стороны дуги  $O_1O_2$ , длину которой необходимо определить, выбирается несколько точек ( $A, B, C, \dots$ ) на взаимных расстояниях до 50 км с таким расчетом, чтобы из каждой точки были видны по меньшей мере две другие точки.

Длину базиса очень тщательно измеряют специальными мерными лентами. Измеренные углы в треугольниках и длина базиса позволяют по тригонометрическим формулам вычислить стороны треугольников, а по ним — длину дуги  $O_1O_2$  с учетом ее кривизны.

В России с 1816 по 1855 г. под руководством В. Я. Струве была измерена дуга меридиана длиной 2800 км. В 30-е гг. XX в. высокоточные градусные измерения были проведены в СССР под руководством профессора Ф. Н. Красовского.

Триангуляционные измерения показали, что длина дуги  $1^\circ$  меридиана не одинакова под разными широтами: около экватора она равна 110,6 км, а около полюсов — 111,7 км, т. е. увеличивается к полюсам.

Истинная форма Земли не может быть представлена ни одним из известных геометрических тел. Поэтому в геодезии и гравиметрии форму Земли считают **геоидом**, т. е. телом с поверхностью, близкой к поверхности спокойного океана и продолженной под материками.

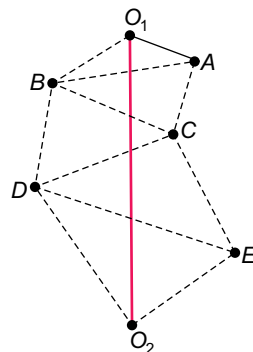


Рис. 42. Метод триангуляции

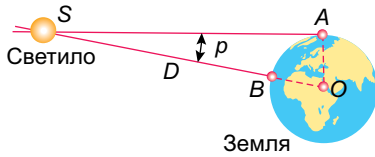


Рис. 43. Горизонтальный параллакс светила

В настоящее время созданы триангуляционные сети со сложной радиолокационной аппаратурой, установленной на наземных пунктах, и с отражателями на геодезических искусственных спутниках Земли, что позволяет точно вычислять расстояния между пунктами. Значительный вклад в развитие космической геодезии внес уроженец Беларуси — известный геодезист, гидрограф и астроном И. Д. Жонголович. На основе изучения динамики движения искусственных спутников Земли он уточнил сжатие нашей планеты и несимметричность Северного и Южного полушарий.

## 2. Определение расстояний методом горизонтального параллакса.

Кажущееся смещение светила, обусловленное перемещением наблюдателя, называется **параллактическим смещением** или **параллаксом** светила. Параллактические смещения светила тем больше, чем ближе оно к наблюдателю и чем больше перемещение наблюдателя.

Определение расстояний до тел Солнечной системы основано на измерении их горизонтальных параллаксов. Угол  $p$ , под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения, называется **горизонтальным параллаксом** (рис. 43). Чем больше расстояние до светила, тем меньше угол  $p$ .

Зная горизонтальный параллакс светила, можно определить его расстояние  $D = SO$  от центра Земли. Расстояние до светила  $D = \frac{R_{\oplus}}{\sin p}$ , где  $R_{\oplus}$  — радиус Земли. Приняв  $R_{\oplus}$  за единицу, можно выразить расстояние до светила в земных радиусах.

Например, параллакс Солнца  $p_{\odot} = 8,794''$ . Параллаксу Солнца соответствует среднее расстояние от Земли до Солнца, примерно равное 149,6 млн км. Это расстояние принимается за одну **астрономическую единицу** (1 а. е.). В астрономических единицах удобно измерять расстояния между телами Солнечной системы.

При малых углах  $\sin p \approx p$ , если угол  $p$  выражен в радианах. Если угол  $p$  выражен в секундах дуги, то вводится множитель

$$\sin 1'' = \frac{1}{206\,265},$$

где 206 265 — число секунд в одном радиане. Тогда

$$\sin p'' = p'' \sin 1'' = \frac{p''}{206\,265''}$$

и

$$D = \frac{206\,265''}{p''} R_{\oplus}.$$

Эта формула значительно упрощает вычисление расстояния  $D$  до светила по известному параллаксу.

**3. Радиолокационный метод.** Для определения расстояний до тел Солнечной системы используются наиболее точные методы измерений — **радиолокационные измерения**. Измерив время  $t$ , необходимое для того, чтобы радиолокационный импульс достиг небесного тела, отразился и вернулся на Землю, вычисляют расстояние  $D$  до этого тела по формуле

$$D = c \frac{t}{2},$$

где  $c$  — скорость света, равная примерно  $3 \cdot 10^8$  м/с.

С помощью радиолокации определены наиболее точные значения расстояний до тел Солнечной системы, уточнены расстояния между материками Земли, более точно определена величина астрономической единицы (1 а. е. = 149 597 870,7 км).

Методы **лазерной локации** (использующие, например, специальные угловые отражатели, доставленные на Луну) позволили измерить расстояния от Земли до Луны с точностью до нескольких сантиметров.

**4. Определение размеров тел Солнечной системы.** При наблюдениях небесных тел Солнечной системы можно измерить угол, под которым они видны наблюдателю с Земли. Зная **угловой радиус светила**  $\rho$  (рис. 44) и расстояние  $D$  до светила, можно вычислить линейный радиус  $R$  этого светила по формуле

$$R = D \cdot \sin \rho.$$

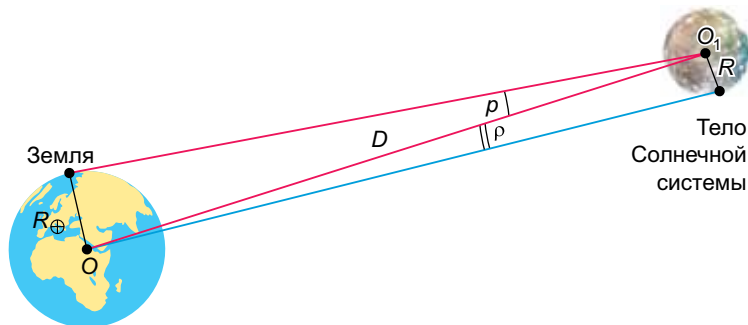


Рис. 44. Определение линейных размеров тел Солнечной системы

По определению горизонтального параллакса, радиус Земли  $R_{\oplus}$  виден со светила под углом  $\rho$ , тогда получим:

$$R = \frac{\sin \rho}{\sin p} R_{\oplus}.$$

Так как значения углов  $\rho$  и  $p$  малы, окончательно имеем:

$$R = \frac{\rho''}{p''} R_{\oplus}.$$

Определение размеров небесных тел таким способом возможно только тогда, когда видны их диски.



### Главные выводы

1. В основу метода определения размеров Земли положены градусные измерения (триангуляция) длин дуг на ее поверхности.
2. Определение расстояний до тел Солнечной системы основано на измерении малых углов (параллакса). В настоящее время для этого используются методы лазерной локации и радиолокации.
3. Расстояния между телами Солнечной системы измеряются в астрономических единицах (1 а. е. равна примерно 149,6 млн км).
4. Определение размеров тел Солнечной системы основано на измерении угловых радиусов и расстояний до них.



### Контрольные вопросы и задания

1. Каким образом греческий ученый Эратосфен определил размеры Земли?
2. Как определяют длину дуги меридиана триангуляционным методом?
3. Что понимают под горизонтальным параллаксом?
4. Как определить расстояние до светила, зная его горизонтальный параллакс?
5. Что такое астрономическая единица?
6. В чем состоит радиолокационный метод определения расстояний до небесных тел?
7. На каком расстоянии от Земли находится небесное тело, если его горизонтальный параллакс равен  $1'$ ?
8. Определите линейный радиус Луны, если в ходе наблюдений стало известно, что ее горизонтальный параллакс в это время равен  $57'$ , а угловой радиус —  $15,5'$ . Радиус Земли принять равным 6400 км.
9. Оцените расстояние от Солнца до Меркурия, если его наибольшая элонгация равна  $28^\circ$ .
10. Определите диаметр Меркурия, если при прохождении по диску Солнца его угловой диаметр оказался  $11,0''$ , а горизонтальный параллакс в этот момент равен  $14,3''$ .