

Урок 4. Расстояние до Солнца и до звёзд

Астрономия · ~35 минут

С Луной мы справились: близко, параллакс большой, тень видна. С Солнцем и звёздами всё гораздо труднее. Солнце ослепительно, а звёзды так далеки, что их «прыжок» на небе меньше толщины волоса на расстоянии вытянутой руки. И всё же люди дотянулись и до них — тем же методом параллакса, только с гигантской базой: диаметром орбиты Земли. Так родилась новая единица — парсек.

Что ты узнаешь

- Что астрономическая единица ≈ 150 млн км, и почему её так трудно было измерить.
- Как транзит Венеры помог найти масштаб Солнечной системы.
- Что такое годичный параллакс звезды и единица «парсек».
- Почему даже ближайшая звезда в сотни тысяч раз дальше Солнца.

Разбираемся в теме

Астрономическая единица — «главная линейка»

Расстояние Земля — Солнце: $1 \text{ a.e.} \approx 1,5 \cdot 10^8 \text{ км} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$. Она называется **астрономической единицей** и служит эталоном всей Солнечной системы. Но измерить её напрямую тяжело: у Солнца не видно резкого края на фоне звёзд, к нему не привяжешь параллакс так же легко, как к Луне.

Транзит Венеры: хитрый обход

Кеплер по своим законам (урок 5) знал **относительные** расстояния планет в а.е.: Венера — 0,72 а.е. от Солнца, Земля — 1 а.е. Не хватало **одного** реального километрового масштаба, чтобы «оцифровать» всю систему.

Ключ дал **транзит Венеры** — редкое прохождение Венеры по диску Солнца (выглядит как маленькая чёрная точка, ползущая по Солнцу). Наблюдатели из разных мест Земли видят путь этой точки чуть по-разному (снова параллакс!). Измерив разницу и зная базу — расстояние между наблюдателями на Земле, — астрономы XVIII века вычислили а.е. Так масштаб всей системы «прибили» к реальным километрам.

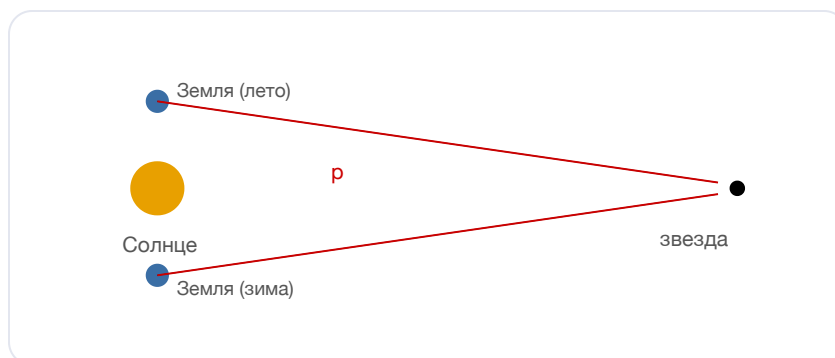
🤔 **А знаешь ли ты?** Ради транзитов Венеры 1761 и 1769 годов снаряжали экспедиции по всему свету (в том числе Джеймса Кука в Тихий океан). Транзиты Венеры редки: два раза с интервалом 8 лет, потом перерыв больше века. Последние были в 2004 и 2012 годах; следующий — только в 2117-м.

📌 **Запомни:** законы Кеплера дают **пропорции** орбит (во сколько раз одна дальше другой), а один точный замер (транзит, а сегодня — радиолокация планет) превращает пропорции в километры.

Годичный параллакс звёзд

Теперь звёзды. База «размер Земли» для них ничтожна. Возьмём базу побольше — **диаметр земной орбиты**: за полгода Земля перелетает с одного края орбиты на другой, а это $2 \text{ а.е.} = 3 \cdot 10^8 \text{ км}$.


Если следить за близкой звездой полгода, она чуть-чуть смещается на фоне далёких звёзд. Половину этого полного смещения (то есть смещение при сдвиге наблюдателя на 1 а.е.) называют **годовым параллаксом** p .



Чем дальше звезда, тем меньше параллакс. Связь та же, что была для Луны: $D = \frac{1}{p}$ (а.е. / рад).

Парсек — единица «под параллакс»

Параллаксы звёзд крошечны — их меряют в **угловых секундах** ($1'' = 1/3600$ градуса). Специально под это придумали единицу расстояния — **парсек** (сокращение от «параллакс в одну секунду»):


 **Запомни:** 1 парсек (пк) — это расстояние, с которого 1 а.е. видна под углом 1 секунда дуги. Формула проста: если параллакс p выражен в секундах дуги, то $D \text{ (пк)} = \frac{1}{p \text{ (")}}$.

Насколько это далеко? $1''$ в радианах — это очень мало: $1'' = \frac{1}{3600} \cdot \frac{\pi}{180} \approx 4,85 \cdot 10^{-6}$ рад. Тогда $1 \text{ пак} = \frac{1 \text{ а.е.}}{4,85 \cdot 10^{-6}} \approx \frac{1,5 \cdot 10^8 \text{ км}}{4,85 \cdot 10^{-6}} \approx 3,1 \cdot 10^{13} \text{ км} \approx 3,26 \cdot 10^4 \text{ св. лет}$.

Почему звёзды так пугающе далеко

У самой близкой звезды (Проксима Центавра) параллакс всего $p \approx 0,77''$ — меньше секунды дуги! Значит, $D = \frac{1}{0,77} \approx 1,3 \text{ пак} \approx 4,2 \cdot 10^{13} \text{ км}$. Сравним с расстоянием до Солнца: $\frac{4 \cdot 10^{13}}{1,5 \cdot 10^8} \approx 2,7 \cdot 10^5$.

Ближайшая звезда в **270 000 раз** дальше Солнца. Вот почему звёзды выглядят точками: они и есть «солнца», но невообразимо далёкие.

 Наблюдать такие параллаксы очень трудно: они меньше дрожания изображения в атмосфере. Первый звёздный параллакс измерили только в 1838 году (Бессель, звезда 61 Лебедя), спустя два века после изобретения телескопа. Сегодня спутник Gaia измеряет параллаксы почти двух миллиардов звёзд.



Разбор примера

Задача. У звезды измерили годичный параллакс $p = 0,1''$. На каком она расстоянии в парсеках, световых годах и километрах?

Решение. В парсеках — сразу по формуле: $D = \frac{1}{p('')} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ пк}$. В световых годах: $1 \text{ пк} \approx 3,26 \text{ св. года}$, значит $D \approx 10 \cdot 3,26 = 32,6 \text{ св. года}$. В километрах: $1 \text{ пк} \approx 3,1 \cdot 10^{13} \text{ км}$, значит $D \approx 10 \cdot 3,1 \cdot 10^{13} = 3,1 \cdot 10^{14} \text{ км}$. Чем меньше параллакс — тем дальше звезда. $p = 0,1''$ уже соответствует 33 световым годам.



Задачи

1. Переведи 1 а.е. в метры и в световые минуты (сколько минут идёт свет от Солнца). Ты уже считал(а) это в уроке 1 — повтори.
2. Годичный параллакс звезды $0,25''$. Найди расстояние в парсеках и в световых годах.
3. Звезда находится в 5 пк от нас. Какой у неё параллакс (в секундах дуги)? Переведи расстояние в световые годы.
4. Во сколько раз ближайшая звезда (4,2 св. года) дальше, чем: (а) Солнце; (б) Нептун ($\approx 30 \text{ а.е.}$)? Ответы — порядком величины.
5. Почему для измерения расстояния до звёзд берут базу «диаметр орбиты Земли» (2 а.е.), а не расстояние между двумя городами, как для Луны? Что было бы с параллаксом звезды при маленькой базе?
6. Проверь размер парсека: подставь $1'' = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ рад}$ и $1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$ в формулу $D = (1 \text{ а.е.})/p$ и получи число километров в парсеке.
7. Спутник Gaia измеряет параллаксы с точностью до $0,00002''$ (двадцать микросекунд дуги). До какого расстояния (в парсеках) он в принципе может «дотянуться» параллаксом? Сравни с размером Галактики ($\approx 30 \text{ 000 пк}$).
8. Венера в 0,72 а.е. от Солнца, Земля — в 1 а.е. Какое минимальное расстояние между Венерой и Землёй (когда они по одну сторону от Солнца на одной

линии)? Вырази в км и в световых минутах.