

Ответы к заданиям — Астрономия

Загляни сюда только после того, как сам(а) попробовал(а) решить!

Многие задачи — «на оценку»: если у тебя получился тот же **порядок величины** и верный **метод**, ответ засчитан, даже если последняя цифра отличается.

Урок 1. Масштабы Вселенной

1. **(а) $1,5 \cdot 10^8$; (б) $7,2 \cdot 10^{-6}$; (в) $3,84 \cdot 10^5$; (г) $1,4 \cdot 10^9$.** Считаем нули: 150 000 000 — восемь нулей после 15, стандартный вид $1,5 \cdot 10^8$. Для маленького числа показатель отрицательный: $0,0000072 = 7,2 \cdot 10^{-6}$.
2. **$8 \cdot 10^{13}$; $2 \cdot 10^8$; $9 \cdot 10^{16}$.** При умножении складываем показатели: $2+4=8$ (числа), $5+8=13$ (показатели). При делении вычитаем: $6-3=2$, $12-4=8$. Квадрат: $(3 \cdot 10^8)^2 = 3^2 \cdot 10^{16} = 9 \cdot 10^{16}$.
3. **$\approx 63\ 000$, то есть порядок 10^4 – 10^5 .** Делим: $9,5 \cdot 10^{12} / 1,5 \cdot 10^8 = (9,5/1,5) \cdot 10^4 \approx 6,3 \cdot 10^4 \approx 63\ 000$ а.е. в световом годе.
4. **$\approx 4 \cdot 10^{13}$ км $\approx 2,7 \cdot 10^5$ а.е.** Расстояние = $4,2 \cdot 9,5 \cdot 10^{12}$ км $\approx 4 \cdot 10^{13}$ км. В а.е.: $4 \cdot 10^{13} / 1,5 \cdot 10^8 \approx 2,7 \cdot 10^5$ а.е. (около 270 000 — знакомое число!).
5. **Нептун ≈ 32 м; звезда дальше Нептуна примерно в 9000 раз.** Масштаб $k = 1,4 \cdot 10^9$ (диаметр Солнца $1,4 \cdot 10^9$ см при модели 1 см). Нептун: $4,5 \cdot 10^9$ км = $4,5 \cdot 10^{14}$ см, делим на $k \rightarrow \approx 3,2 \cdot 10^5$ см = 3200 м?? Нет: проверим — $4,5 \cdot 10^{14} / 1,4 \cdot 10^9 \approx 3,2 \cdot 10^5$ см = 3,2 км... Точный масштаб в уроке брался иначе; правильный расчёт: диаметр Солнца $1,4 \cdot 10^6$ км = $1,4 \cdot 10^{11}$ см, $k = 1,4 \cdot 10^{11}$. Тогда Нептун $4,5 \cdot 10^{14}$ см / $1,4 \cdot 10^{11} \approx 3,2 \cdot 10^3$ см ≈ 32 м (совпадает с таблицей). Ближайшая звезда $4 \cdot 10^{13}$ км = $4 \cdot 10^{18}$ см / $1,4 \cdot 10^{11} \approx 2,9 \cdot 10^7$ см ≈ 290 км. Отношение $290\ 000$ м / 32 м ≈ 9000 раз.
6. **В метре $\approx 2 \cdot 10^3$ песчинок, в километре $\approx 2 \cdot 10^6$.** Песчинка 0,5 мм = $5 \cdot 10^{-4}$ м. В метре: $1 / 5 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^3$ штук. В километре в 1000 раз больше: $2 \cdot 10^6$.

7. $\approx 10^{37}$ раз, то есть **37 порядков**. Делим: $10^{27} / 10^{-10} = 10^{27+10} = 10^{37}$. Разница в 37 порядков — вот весь диапазон размеров в природе.
8. ≈ 13 минут. $t = s/c = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ м} / 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 767 \text{ с} \approx 12,8 \text{ мин}$ (в одну сторону). Сигнал туда-обратно — около 26 минут, поэтому командой «поверни налево» в реальном времени управлять нельзя: марсоход должен действовать полуавтономно.
-

Урок 2. Эратосфен измеряет Землю

- 1/50 круга; окружность в 50 раз больше расстояния между городами.** $7,2^\circ / 360^\circ = 1/50$. Значит вся окружность = $50 \times$ (Александрия — Сиена).
- Окружность $\approx 40\,000$ км, радиус ≈ 6400 км.** $L = 50 \times 800 = 40\,000$ км. $R = L / (2\pi) = 40\,000 / 6,28 \approx 6370$ км. Точное попадание в реальный радиус Земли.
- Потому что при параллельных лучах угол тени равен углу между городами из центра Земли (накрест лежащие углы при параллельных).** Будь Солнце близко, лучи в двух городах шли бы под разными направлениями сами по себе, и разница теней смешивала бы два эффекта — «близость Солнца» и «кривизну Земли»; чистый вывод о радиусе не прошёл бы.
- $\approx 10^\circ$. $\tan \alpha = \text{тень} / \text{высота} = 0,35 / 2 = 0,175$, откуда $\alpha \approx 9,9^\circ \approx 10^\circ$.
- R ≈ 6300 км.** Важна разность углов: $15^\circ - 5^\circ = 10^\circ$. Дуга 1100 км соответствует 10° . Полная окружность $L = 1100 \times (360/10) = 39\,600$ км. $R = 39\,600 / 6,28 \approx 6300$ км.
- ≈ 44 часа. $\text{Время} = 40\,000 / 900 \approx 44,4$ ч (почти двое суток непрерывного полёта).
- ≈ 111 км. Одному градусу соответствует $1/360$ окружности: $40\,000 / 360 \approx 111$ км. (Отсюда, кстати, высота Полярной звезды над горизонтом равна широте места.)

8. **Метод меряет дугу вдоль меридиана (север — юг), связанную с углом высоты Солнца.** Если города разнесены по долготе (восток — запад), у них ещё и разное местное время полудня, и расстояние между ними не соответствует напрямую разнице полуденных высот Солнца. Нужны точки на одном меридиане.

Урок 3. Расстояние до Луны и её размер

1. $1^\circ \approx 0,0175$ рад; $0,5^\circ \approx 0,0087$ рад; $2^\circ \approx 0,035$ рад. Умножаем градусы на $\pi/180 \approx 0,01745$.
2. ≈ 60 радиусов Земли. $384\,000 / 6400 = 60$.
3. $\approx 1,3 \cdot 10^6$ км $\approx 1,4 \cdot 10^6$ км. $d = \theta \cdot D = 0,0087 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \approx 1,3 \cdot 10^6$ км. Настоящий диаметр Солнца $1,4 \cdot 10^6$ км — совпадает по порядку (округление угла до $0,5^\circ$).
4. ≈ 2500 км. Если тень \approx диаметр Земли (12 800 км) и она в 2,6 раза шире Луны, то диаметр Луны $\approx 12\,800 / 2,6 \approx 4900$ км, радиус ≈ 2500 км. Грубая оценка чуть завышена (настоящий радиус 1740 км), потому что тень на расстоянии Луны уже земного диаметра — но порядок верный, и вывод «Луна в несколько раз меньше Земли» правильный.
5. $\approx 1,3$ с в одну сторону; $\approx 2,6$ с туда-обратно. $t = 3,84 \cdot 10^8 \text{ м} / 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 1,28$ с. Обрато столько же — $\approx 2,6$ с.
6. $\approx 2^\circ$, то есть примерно вчетверо крупнее Луны в нашем небе. Диаметр Земли вчетверо больше лунного, расстояние то же, значит угловой размер вчетверо больше: $4 \times 0,5^\circ = 2^\circ$. По площади Земля в небе Луны выглядит примерно в 16 раз «объёмнее».
7. $\approx 386\,000$ км. $p = 0,95^\circ = 0,0166$ рад. $D = b/p = 6400 / 0,0166 \approx 386\,000$ км. Отлично согласуется с 384 000 км.
8. $\approx 0,014^\circ$ — намного меньше Луны. $\theta = \text{размер} / \text{расстояние} = 100 \text{ м} / 4 \cdot 10^5 \text{ м} = 2,5 \cdot 10^{-4}$ рад = $0,0143^\circ$. Это примерно в 35 раз меньше углового размера Луны

(0,5°). Поэтому МКС видна как быстро летящая яркая точка, а не диск.

Урок 4. Расстояние до Солнца и до звёзд

1. **1 а.е. = $1,5 \cdot 10^{11}$ м; свет идёт $\approx 8,3$ минуты.** $t = 1,5 \cdot 10^{11} / 3 \cdot 10^8 = 500 \text{ с} \approx 8,3 \text{ мин.}$
 2. **4 пк ≈ 13 св. лет.** $D = 1/0,25 = 4 \text{ пк.}$ В световых годах: $4 \times 3,26 \approx 13 \text{ св. лет.}$
 3. **$\rho = 0,2''$; ≈ 16 св. лет.** $\rho = 1/D = 1/5 = 0,2''$. Расстояние $5 \times 3,26 \approx 16,3 \text{ св. года.}$
 4. **(а) $\approx 270\,000$ раз дальше Солнца; (б) ≈ 9000 раз дальше Нептуна.** Расстояние $4,2 \text{ св. года} \approx 4 \cdot 10^{13} \text{ км.}$ (а) $4 \cdot 10^{13} / 1,5 \cdot 10^8 \approx 2,7 \cdot 10^5$. (б) Нептун $30 \text{ а.е.} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ км;}$ $4 \cdot 10^{13} / 4,5 \cdot 10^9 \approx 9 \cdot 10^3$.
 5. **Чтобы параллакс был вообще заметен, нужна огромная база.** Звёзды в сотни тысяч раз дальше Луны; при базе в тысячи км их смещение было бы неизмеримо малым. Диаметр орбиты Земли ($2 \text{ а.е.} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ км}$) даёт максимально большую доступную базу — но и тогда параллакс меньше секунды дуги.
 6. **$\approx 3,1 \cdot 10^{13} \text{ км.}$** $D = (1 \text{ а.е.})/\rho = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км} / 4,85 \cdot 10^{-6} \approx 3,1 \cdot 10^{13} \text{ км.}$ (Это и есть 1 парсек $\approx 3,26 \text{ св. года.}$)
 7. **$\approx 50\,000 \text{ пк.}$** $D = 1/\rho = 1/0,00002 = 50\,000 \text{ пк.}$ Это больше поперечника Галактики ($\approx 30\,000 \text{ пк}$), то есть Gaia в принципе достаёт параллаксом до дальнего края нашей Галактики.
 8. **$\approx 0,28 \text{ а.е.} \approx 4,2 \cdot 10^7 \text{ км} \approx 2,3 \text{ световой минуты.}$** Минимальное расстояние = $1 - 0,72 = 0,28 \text{ а.е.} = 0,28 \cdot 1,5 \cdot 10^8 \approx 4,2 \cdot 10^7 \text{ км.}$ Время света: $4,2 \cdot 10^{10} \text{ м} / 3 \cdot 10^8 \approx 140 \text{ с} \approx 2,3 \text{ мин.}$
-

Урок 5. Тяготение и орбиты

- (а) в 4 раза меньше; (б) в 9 раз больше; (в) в 100 раз меньше.** Сила $\sim 1/r^2$.
Удвоил $r \rightarrow$ делим на $2^2 = 4$. Уменьшил втрое \rightarrow умножаем на $3^2 = 9$. Увеличил в 10 \rightarrow делим на 100.
- В 4 раза.** $g \sim 1/r^2$. На расстоянии $2R$ сила и ускорение в $2^2 = 4$ раза меньше, чем на поверхности.
- Марс $\approx 1,87$ года; Нептун ≈ 164 года.** $T = \sqrt{a^3}$. Марс: $\sqrt{(1,52^3)} = \sqrt{3,51} \approx 1,87$ года. Нептун: $\sqrt{(30^3)} = \sqrt{27\,000} \approx 164$ года.
- ≈ 16 а.е.** $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{(64^2)} = \sqrt[3]{4096} = 16$ а.е.
- $\approx 1,7$ км/с; в $\approx 4,7$ раза меньше земной.** $v = \sqrt{gR} = \sqrt{(1,6 \cdot 1,74 \cdot 10^6)} = \sqrt{(2,78 \cdot 10^6)} \approx 1670$ м/с $\approx 1,7$ км/с. Отношение $7,9/1,7 \approx 4,7$.
- ≈ 27 суток.** Длина орбиты $= 2\pi r = 6,28 \cdot 3,84 \cdot 10^5$ км $\approx 2,41 \cdot 10^6$ км. Время $= 2,41 \cdot 10^6 / 1$ км/с $= 2,41 \cdot 10^6$ с $\approx 27,9$ суток. Совпадает с настоящими 27,3 сут.
- $M \approx 6 \cdot 10^{24}$ кг.** Из $g = GM/R^2$ выражаем $M = gR^2/G = 9,8 \cdot (6,4 \cdot 10^6)^2 / 6,67 \cdot 10^{-11} = 9,8 \cdot 4,1 \cdot 10^{13} / 6,67 \cdot 10^{-11} \approx 4 \cdot 10^{14} / 6,67 \cdot 10^{-11} \approx 6 \cdot 10^{24}$ кг. Это и есть масса Земли!
- Космонавты падают вместе со станцией с одинаковым ускорением.**
Тяготение там почти прежнее, но станция не «стоит» — она непрерывно падает по орбите, промахиваясь мимо Земли. И станция, и космонавт, и всё внутри падают синхронно, поэтому нет опоры и веса — это невесомость (свободное падение), а не отсутствие гравитации.

Урок 6. Свет и спектры

- $\approx 2,5$ млн св. лет $\approx 2,4 \cdot 10^{19}$ км.** Расстояние в св. годах равно времени полёта: $2,5 \cdot 10^6$ св. лет. В км: $2,5 \cdot 10^6 \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \approx 2,4 \cdot 10^{19}$ км.
- фиолетовый < зелёный < оранжевый < красный; самая длинная волна — у красного.** По длине волны от короткой к длинной именно так; красный ≈ 700 нм, фиолетовый ≈ 400 нм.

3. **Приближается.** Синее смещение = волны «поджаты» = источник движется к нам вдоль луча зрения.
 4. ≈ 30 км/с. $v = c \cdot (\Delta\lambda/\lambda) = 3 \cdot 10^5$ км/с $\cdot (0,05/500) = 3 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4} = 30$ км/с.
 5. ≈ 43 Мпк. $D = v/H_0 = 3000 / 70 \approx 43$ Мпк.
 6. **Спектральные линии — «штрихкод» элементов.** Каждый элемент поглощает/излучает свет на своих длинах волн. Свет звезды доходит до нас с этими метками, по ним читают состав, не улетая к звезде.
 7. $\approx 1,4 \cdot 10^{10}$ св. лет $\approx 1,3 \cdot 10^{23}$ км. Путь $\approx 13,8$ млрд $\approx 1,4 \cdot 10^{10}$ св. лет. В км: $1,4 \cdot 10^{10} \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \approx 1,3 \cdot 10^{23}$ км.
 8. **A–B выросло вдвое, A–C — тоже вдвое, но на большее число; C «убежала» быстрее.** Пусть исходно A–B = d, A–C = 2d. После надувания: A–B = 2d (приросло на d), A–C = 4d (приросло на 2d). За то же время дальняя точка C удалилась на вдвое большее расстояние — значит, её скорость удаления вдвое больше. Это и есть закон Хаббла: дальше объект → быстрее убегает, причём с любой точки картина одинаковая (центра нет).
-

Урок 7. Солнечная система и поиск экзопланет

1. **Земная группа: Меркурий, Венера, Земля, Марс. Гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.** Отличия: земные — маленькие / каменные / плотные / близко к Солнцу / мало спутников; гиганты — огромные / газовой-ледяные / далеко / много спутников и кольца.
2. **Сатурн $\approx 29,6$ года; Нептун ≈ 165 лет.** $T = \sqrt{a^3}$. Сатурн: $\sqrt{(9,58^3)} = \sqrt{879} \approx 29,6$ года. Нептун: $\sqrt{(30,1^3)} = \sqrt{27\,271} \approx 165$ лет. Совпадает с таблицей.
3. $\approx 0,008\%$ (около $8 \cdot 10^{-3} \%$). $\Delta L/L = (0,009)^2 = 8,1 \cdot 10^{-5} \approx 0,008\%$. Провал в тысячные доли процента — поэтому нужны сверхточные космические телескопы вне мерцающей атмосферы.

4. **≈ 2 радиуса Юпитера.** $R_{\text{пл}}/R_{\text{зв}} = \sqrt{0,04} = 0,2$, то есть $0,2 R_{\odot}$. В радиусах Юпитера: $0,2 / 0,1 = 2 R_{\text{Юп}}$.
5. **≈ 0,045 а.е.; намного ближе Меркурия.** $T = 3,5$ сут = $3,5/365 \approx 0,0096$ года. $a = \sqrt[3]{(T^2)} = \sqrt[3]{(9,2 \cdot 10^{-5})} \approx 0,045$ а.е. Это в ≈ 9 раз ближе к звезде, чем Меркурий к Солнцу (0,39 а.е.) — типичный «горячий юпитер».
6. **Покачивание звезды меняет её скорость вдоль луча зрения, а Доплер превращает скорость в сдвиг линий.** В спектре периодически «дрожат» спектральные линии: то к синему (звезда идёт к нам), то к красному (от нас). Период дрожания = период обращения планеты, амплитуда связана с массой планеты.
7. **Порядок: $R_{\text{Земли}} (\approx 10^7 \text{ м}) < \text{до Луны} (\approx 4 \cdot 10^8 \text{ м}) < \text{до Солнца} (\approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}) < \text{до ближайшей звезды} (\approx 4 \cdot 10^{16} \text{ м}) < \text{поперечник Галактики} (\approx 10^{21} \text{ м})$.**
Методы: радиус Земли — тени/Эратосфен (урок 2); до Луны — затмения и параллакс (урок 3); до Солнца — транзиты/а.е. (урок 4); до звезды — годичный параллакс (урок 4); размер Галактики — параллаксы + другие «ступени лестницы расстояний».
8. **Плотность меньше, чем у Юпитера → планета «раздутая», газовая.** Масса как у Юпитера, а радиус в 1,2 раза больше, значит объём в $1,2^3 \approx 1,7$ раза больше. Плотность = масса/объём меньше юпитерианской примерно в 1,7 раза. Такая низкая плотность означает газовый состав (водород/гелий), а не камень — это «раздутый горячий юпитер».