



Районный этап  
Всероссийской олимпиады  
по астрономии  
Санкт-Петербург

2018  
21  
ноября

---

10 класс

---

1. Как известно, светимости звезд Главной последовательности примерно пропорциональны четвертой степени их масс. Как зависит от массы звезды время ее жизни на Главной последовательности?

**Решение:**

За время жизни на Главной последовательности (ГП) из водорода, находящегося в центре звезды, синтезируется гелий, энерговыделение в этом процессе в конечном счете и обеспечивает светимость звезды. Поскольку звезды ГП в первом приближении устроены одинаково, можно считать, что доля массы звезды, превращающаяся в гелий, примерно постоянна, а это означает, что произведение светимости звезды  $L$  и времени ее жизни  $\tau$  пропорционально массе звезды  $M$ .

Тогда  $\tau \propto M/L$  и, поскольку  $L \propto M^4$ , получаем, что  $\tau \propto M^{-3}$ , т.е. время жизни звезды обратно пропорционально кубу ее массы.

*П.А.Тараканов*

2. 12 августа 2018 года был запущен космический зонд Parker Solar Probe, созданный для изучения Солнца. Планируется, что минимальная высота эллиптической орбиты зонда над фотосферой Солнца будет составлять всего 9 радиусов Солнца, а орбитальный период — 88 суток. Угол наклона орбиты зонда будет составлять  $3^\circ.4$  к плоскости эклиптики. На какое максимальное расстояние от плоскости эклиптики будет отходить зонд?

**Решение:**

Так как орбита зона наклонена к плоскости эклиптики (это сделано из-за того, что в ходе приближения к Солнцу аппарат несколько раз будет совершать гравитационный маневр у Венеры, у которой именно такой угол наклона орбиты), то иногда аппарат будет «над» эклиптикой, а иногда — «под». Чем дальше аппарат расположен от Солнца, тем дальше от эклиптики он находится. Значит в конечном счете нас интересует апоцентр орбиты.

При помощи третьего закона Кеплера по известному периоду вычислим большую полуось орбиты зонда. Проще всего работать в системе единиц «годы — астрономические единицы» (т.е. фактически сравнивать зонд с Землей):

$$a = \sqrt[3]{\left(\frac{88}{365}\right)^2} = 0.39 \text{ а.е.}$$

Минимальная высота над фотосферой Солнца дает нам перицентрическое расстояние  $r_\pi = a(1 - e) = 10$  радиусов Солнца = 0.05 а.е., откуда можно найти эксцентриситет  $e$ . Подставляя найденное значение в выражение для апоцентрического расстояния, получим  $r_\alpha = a(1 + e) = 0.8$  а.е.

Чтобы найти расстояние от эклиптики, необходимо домножить получившееся значение на синус угла наклона орбиты (можно и на сам угол, выраженный в радианах, поскольку он мал). Итоговый ответ получается около 0.05 а.е. или  $7 \times 10^6$  км.

*В.В. Григорьев*

3. Арктур является одной из первых звезд, у которых было открыто собственное движение; оценку собственного движения осуществил в 1718 году Эдмунд Галлей. Какое расстояние с тех пор прошел Арктур, если лучевая скорость звезды равна  $-5$  км/с, годичный параллакс  $0''.1$ , собственное движение  $2''/\text{год}$ ?

**Решение:**

Определим полную пространственную скорость звезды. Тангенциальная компонента скорости выражается через собственное движение как  $v_\tau \approx 5\mu/\pi = 20$  а.е./год  $\approx 10^2$  км/с.

Это означает, что лучевой компонентой скорости можно пренебречь. С 1718 года до 2018 года прошло 300 лет, т.е. пройденное Арктуром расстояние равно  $3 \cdot 10^2 \times 20 = 6 \cdot 10^3$  а.е. (или  $9 \cdot 10^{11}$  км).

*А.В.Веселова*

4. Космические туристы осматривают объекты в поясе астероидов своей планетной системы. На осмотр каждого объекта отводится одинаковое время. Сначала туристы подлетают к астероиду радиусом 300 км, космический корабль выключает двигатели и переходит на круговую орбиту высотой 30 км. После одного витка они перелетают к астероиду той же плотности радиусом 100 км. Какую высоту должна иметь орбита, чтобы полет занял то же время? Астероиды можно считать сферическими.

**Решение:**

Для круговой орбиты высоты  $h$  можно записать III закон Кеплера:

$$\frac{T^2}{(R+h)^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \quad \text{или} \quad \frac{T^2}{(R+h)^3} = \frac{4\pi^2}{G\frac{4}{3}\pi R^3 \rho}, \quad \text{отсюда} \quad T^2 = \frac{3\pi}{G\rho} \left(1 + \frac{h}{R}\right)^3.$$

Обозначим параметры орбиты и первого астероида величинами с индексом 1, второго — с индексом 2. Тогда равенство периодов приводит к соотношению

$$\frac{3\pi}{G\rho} \left(1 + \frac{h_1}{R_1}\right)^3 = \frac{3\pi}{G\rho} \left(1 + \frac{h_2}{R_2}\right)^3 \Rightarrow \frac{h_1}{R_1} = \frac{h_2}{R_2} \Rightarrow h_2 = h_1 \frac{R_2}{R_1} = 10 \text{ км.}$$

*А.В.Веселова*

5. 16 июня происходит покрытие Нептуна Луной. В тот же день Нептун находится в стоянии. 22 ноября Нептун также находится в стоянии. Какова была фаза Луны 16 июня? В каком созвездии это все происходило?

**Решение:**

Стояния планеты — это точки на ее видимой траектории, где планета меняет направление видимого движения с прямого на обратное и наоборот. В эти моменты угловая скорость планеты равна нулю. Посередине петли попятного движения планета оказывается в противостоянии с Солнцем с максимумом угловой скорости. Следовательно, противостояние Нептуна произошло посередине между 16 июня и 22 ноября. Между 16 июня и 22 ноября прошло 159 дней. Следовательно, между 16 июня и противостоянием прошло примерно 80 дней, т.е. оно случилось в районе 4 сентября. Так как период обращения Нептуна вокруг Солнца очень большой (около 165 лет), то можно считать, что за 159 дней Нептун практически не сдвинулся среди звезд и все его видимое движение относительно Солнца обусловлено исключительно орбитальным движением Земли. Земля проходит по орбите примерно  $1^\circ$  в день. Таким образом, между первым стоянием и противостоянием Нептуна Солнце в своем видимом годичном движении сдвинулось примерно на  $80^\circ$ . Так как Нептун находится намного дальше от Солнца, чем Земля, то направление на него с Земли

и с Солнца можно считать одним и тем же. Следовательно, в момент покрытия Луной Нептуна фазовый угол (угол между лучом света, падающим от Солнца на Луну, и лучом, отразившимся от нее в сторону наблюдателя) также примерно равен  $\varphi = 80^\circ$ . Отсюда фаза Луны равна  $\Phi = \cos^2 \frac{\varphi}{2} \approx 0.6$ . Так как Нептун не движется относительно звезд, то он и 16 июня, и 4 сентября находится в одном и том же созвездии. Это созвездие противоположно тому, в котором Солнце бывает 4 сентября (т.к. 4 сентября — противостояние), т.е. то, в котором Солнце бывает 4 марта — Водолей.

*М.В.Костина*