

Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии

11 класс, 2019/2020 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



1. «Замедление» времени. (8 баллов). Насколько изменится продолжительность года, если расстояние Земли от Солнца увеличится на 1000 км?

**Решение:**

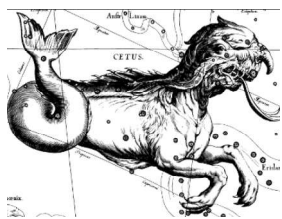
Используем третий закон Кеплера для связи периода и радиуса орбиты ( $T^2 \sim R^3$ ). (2 балла). Определим, как при этом небольшое изменение  $R$  отразится на  $T$ . Знакомым с основами математического анализа, достаточно взять производные от  $R$  и  $T$ ; а те, кто не знаком с дифференцированием, могут использовать бином Ньютона для  $(R + \Delta R)^3$  и  $(T + \Delta T)^2$ . (2 балла). Оба метода дадут связь:  $\Delta T/T = 3/2 \Delta R/R$ . (2 балла). Отсюда  $\Delta T/T = 1,5(\Delta R/R)$  года =  $10^{-5}$  года  $\approx 300$  сек.  $\approx 5$  мин. (2 балла).

2. Венера для марсиан. (8 баллов). Для земного наблюдателя блеск Венеры во время наибольшей элонгации равен  $-4,4^m$ . Чему равен блеск Венеры в этой же конфигурации при наблюдении с Марса? Расстояние Венеры от Солнца равно 0,72 а. е., а Марса от Солнца 1,52 а. е.

**Решение:**

Расстояние Венеры от Земли в момент наибольшей элонгации составляет  $\sqrt{1 - 0.72^2} = 0,69$  а. е., а от Марса  $\sqrt{1.52^2 - 0.72^2} = 1,34$  а. е. (2 балла).

Квадрат отношения этих расстояний составляет 3,77 — во столько же раз будет меньше поток света от Венеры на Марсе по сравнению с Землей. (2 балла). В звездных величинах это около  $1,4^m$ . (2 балла). Следовательно, во время наибольшей элонгации на Марсе блеск Венеры будет около  $-3^m$ . (2 балла).



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии

11 класс, 2019/2020 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



3. **Потемнение к краю. (8 баллов).** Почему солнечный диск выглядит ярче в центре, чем по краям? Варианты ответа:

- а) центр солнечного диска горячее, чем его края;
- б) центр солнечного диска ближе к Земле, чем края;
- в) в центре мы видим более глубокие слои фотосферы;
- г) глаз человека в центре поля зрения чувствительнее, чем по краям;
- д) в телескопе любое изображение темнее у края поля зрения (эффект диафрагмирования наклонного пучка);
- е) солнечные лучи выходят перпендикулярно к его поверхности, поэтому лучи от краев диска на Землю не попадают.

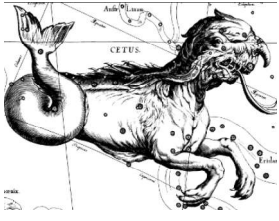
**Решение:**

Верен ответ «в»: наблюдая поверхность Солнца в центре диска, мы видим более глубокие, а следовательно, более горячие слои фотосферы. Дело в том, что, распространяясь перпендикулярно поверхности Солнца, эти лучи могут выйти с довольно большой глубины. А чтобы направиться в сторону Земли с края солнечного диска, лучам, родившимся на той же глубине, пришлось бы преодолеть гораздо большую толщину атмосферы — этому препятствует поглощение света вышележащими более холодными слоями газа.

4. **Поиски планет. (8 баллов).** Если жители планеты у звезды  $\alpha$  Центавра систематически измеряют положение Солнца с точностью  $0,01''$ , то смогут ли они заметить колебания в движении Солнца, вызванные обращением вокруг него планет Солнечной системы? Параллакс  $\alpha$  Cen составляет  $p = 0,751''$ .

**Решение:**

Практически вся масса нашей планетной системы заключена в Юпитере, поэтому в подобных задачах можно рассматривать двойную систему Солнце-



Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии

11 класс, 2019/2020 учебный год  
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



Юпитер, обращающуюся вокруг общего центра масс. (2 балла). Расстояние Солнца от центра масс  $r_c = r_{ю} M_{ю} / M_c$ , где  $r_{ю}$  — расстояние Юпитера от центра масс, практически совпадающее с радиусом его орбиты (5,2 а.е.). (2 балла). Тогда амплитуда углового перемещения Солнца при наблюдении с  $\alpha$  Центавра при расстоянии до нее  $D$  будет  $\varphi = 206265'' r_c / D = p r_c$  (а.е.) =  $p r_{ю} M_{ю} / M_c$ . (2 балла). Положив  $M_c / M_{ю} \approx 1000$ , получим  $\varphi = 0,751 \cdot 5,2 / 1000 = 0,004''$ . (2 балла). Значит, астрономы из  $\alpha$  Центавра не узнают, что у Солнца есть планеты.

5. Новые законы Кеплера. (8 баллов). Сформулируйте законы Кеплера для центральной силы, если ее значение изменяется пропорционально расстоянию:  $F \sim R$ .

**Решение:**

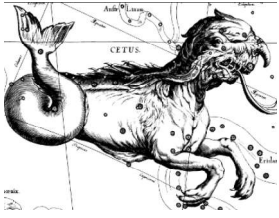
1. Планеты движутся по эллипсам, в центрах которых — Солнце. (2 балла).
2. За равные времена радиус-вектор заметает равные площади. (2 балла).
3. Период не зависит от размера орбиты. (4 балла).

6. Судьба планеты. (8 баллов). Планета движется по круговой орбите вокруг звезды. Каким станет эксцентриситет орбиты, если масса звезды мгновенно изменится в  $n$  раз?

**Решение:**

Очевидно, если  $n \neq 0$ , то орбита планеты уже не будет круговой. Чтобы определить расстояние в перигелии ( $R_p$ ) или афелии ( $R_a$ ), запишем уравнение сохранения момента:

$R_p V_p = R_a V_a$  (2 балла) и уравнение сохранения энергии:  $\frac{1}{2}(V_p^2 - V_a^2) = nGM_0(1/R_p - 1/R_a)$  (2 балла), где  $V_p$  и  $V_a$  — скорости в соответствующих точках. Учтем, что  $V_a^2 = GM_0/R_a$ . Решив эту систему уравнений, найдем, что  $R_a/R_p = 2n - 1$  и эксцентриситет  $e = (R_a - R_p)/(R_a + R_p) = (n - 1)/n$ . (2 балла).



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**

11 класс, 2019/2020 учебный год

Длительность 3 часа.      Максимум 48 баллов.



---

Таким образом,  $e^2 = (1 - M_0/M)^2$ , или  $e = |1 - M_0/M|$ , где  $M_0$  и  $M$  — начальная и конечная масса звезды. **(2 балла)**. Эти формулы верны только при быстром изменении массы звезды, происходящем за время, много меньшее орбитального периода планеты. Практически так может произойти только взрыв звезды с соответствующей потерей массы ( $M_0/M > 1$ ). Если при этом масса звезды уменьшится более чем вдвое, то орбита планеты станет незамкнутой ( $e > 1$ ), т. е. планета навсегда покинет звезду.