

Муниципальный этап

11 класс

*Время выполнения –  
3 астрономических часа*

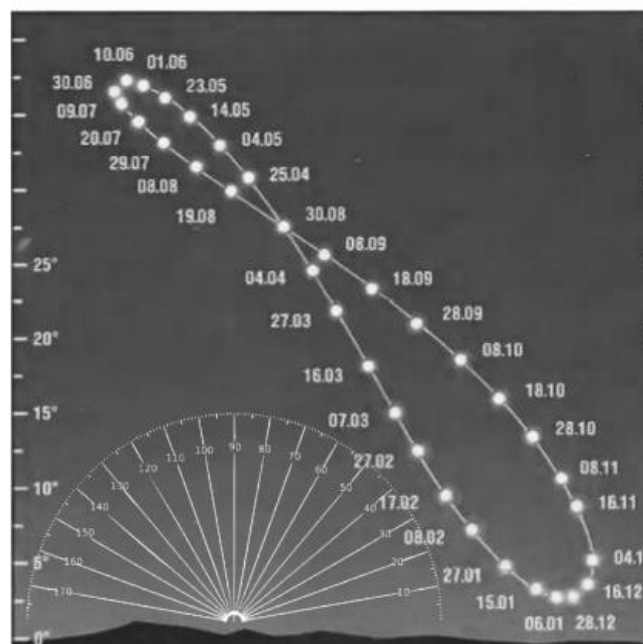
1. В зените, светила Полярная звезда, а под ковшем Малой Медведицы раскинулась Большая Медведица. Верно ли это наблюдение, если оно сделано в Архангельске? Почему?

**Возможное решение**

Это наблюдение не может быть сделано в Архангельске, так как географическая широта г. Архангельск  $\varphi \approx 64^\circ$ , следовательно, высота Полярной звезды (близкая к северному полюсу мира) над горизонтом в этом месте тоже  $\approx 64^\circ$ , а не  $90^\circ$ , как это указано в описании (полярная звезда – в зените, над головой).

За знание того, что Полярная звезда близка к Северному полюсу мира – **2 балла**. Теорема о высоте полюса мира над горизонтом – **4 балла**. Правильный ответ – **2 балла**

2. На рисунке показана аналемма – кривая, имеющая форму восьмёрки и соединяющая последовательных положений центральной звезды планетной системы (Солнца) на небосводе одной из планет этой системы в одно и то же время суток в течение года. По бокам показана высота Солнца над горизонтом.



а) Почему точки, соответствующие положению Солнца в дни весеннего и осеннего равноденствия не совпадают?

б) В каком полушарии, в какое время суток делалась аналемма?

в) Оценить широту места наблюдения.

**Возможное решение**

1) Точки, соответствующие положению Солнца в дни весеннего и осеннего равноденствия, не совпадают из-за эллиптичности орбиты Земли – в рассматриваемые моменты планета находится на разном расстоянии от звезды. (**2 балла**)

2) Малая петля находится сверху, значит, наблюдения велись в северном полушарии (из-за эллиптичности орбиты). (**2 балла**)

3) Аналемма наклонена влево, значит наблюдения велись в утреннее время. **(2 балла)**

4) Угол между верхней и нижней концами восьмерки приблизительно равен  $50^\circ$  – наблюдения велись примерно на  $50^\circ$  северной широты. **(2 балла)**

**3.** При наблюдении с Земли Марс располагается в западной квадратуре, а комета — в восточной. С Земли комета имеет звездную величину  $7^m$ , а с Марса  $8^m$ . Каково расстояние от Солнца и Земли до кометы, если известно, что она видна с обеих планет вблизи линии эклиптики? Орбиты Земли и Марса считать круговыми, лежащими в одной плоскости. Поглощением света в атмосферах планет пренебречь.

#### Возможное решение

По условию задачи, все четыре тела (Солнце, Земля, Марс и комета) фактически лежат в плоскости эклиптики. Изобразим их на рисунке. Марс и комета находятся в противоположных квадратурах, и Земля располагается около линии, соединяющей Марс и комету. Определим расстояние между Землей и Марсом:

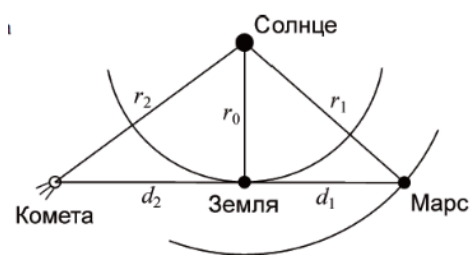
$$d_1 \sqrt{r_1^2 - r_0^2} = 1,15 \text{ а.е. (3 балла)}$$

Здесь  $r_0$  и  $r_1$ ; — радиусы орбит Земли и Марса. По условию задачи, с Земли (расстояние  $d_2$ ) комета выглядит на  $1^m$  ярче, чем с Марса (расстояние  $d_1 + d_2$ ). Соотношение яркостей  $K$  равно 2,512, и для расстояний справедливо выражение:

$$\frac{d_1 + d_2}{d_2} = \sqrt{K} \text{ (3 балла)}$$

Здесь было учтено, что комета ориентирована одинаково по отношению к наблюдателям на Земле и Марсе. Отсюда  $d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{K}-1} = 2 \text{ а.е.}$

$$\text{Расстояние кометы от Солнца } r_2 = \sqrt{r_0^2 + d_2^2} = 2,2 \text{ а.е. (2 балла)}$$

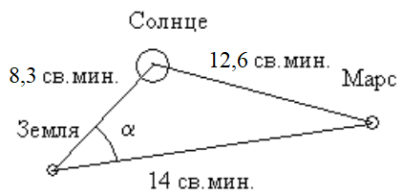


**4.** Для уточнения параметров орбиты Марса была проведена радиолокация планеты. Между моментом отправки сигнала с антенны дальней космической связи и моментом приема отраженного излучения прошло 28 минут. Оцените угловое расстояние между Солнцем и Марсом, считая, что расстояние (линейное) от Солнца до Марса в полтора раза больше, чем расстояние от Солнца до Земли.

#### Возможное решение:

Для решения будем использовать понятие «световая минута». Это расстояние, которое свет проходит за 1 минуту со скоростью света. Расстояние одна астрономическая единица – это 8,3 световых минут. Расстояние от Солнца до Марса составляет 1,52 а.е. – это 12,6 световых минут. По условию

задачи в момент исследования, расстояние до Марса составляло 14 световых минут (28/2 - время прохождения сигнала от Земли до Марса). Рассмотрим рисунок



В треугольнике "Солнце-Земля-Марс" все три стороны нам известны. Искомое угловое расстояние - это угол треугольника, который может быть получен из теоремы косинусов. Обозначим: Земля-Солнце= $a$ , Солнце – Марс = $b$ , Земля Марс = $c$ , тогда  $b^2 = a^2 + c^2 - 2accos\alpha$ , отсюда следует

$$\cos\alpha = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ca}$$

После подстановки числовых значений получаем  $\cos\alpha = 0,457$ , что примерно соответствует углу  $63^\circ$ .

#### Оценивание.

Все длины (стороны треугольника) выражены в одних единицах измерения - **2 балла**

Рассмотрена теорема косинусов с необходимым углом - **2 балла**

Найден косинус этого угла - **2 балла**

Определено значение угла - **2 балла**

**5.** Какую максимальную долю земной поверхности можно охватить взглядом с высоты 10 км?

#### Возможное решение

Пусть точка  $O$  - центр Земли,  $H$  - наблюдатель и  $\Gamma$  - горизонт. Обозначим длины отрезков:  $O\Gamma$  через  $R$  и  $H\Gamma$  через  $D$ . Тогда длина отрезка  $HO$  будет равна  $R + h$ , где  $h = 10$  км - высота наблюдения. Получившийся треугольник  $H\Gamma O$  – прямоугольный. **(2 балла)**

По теореме Пифагора:  $(R + h)^2 = D^2 + R^2$ , откуда  $D^2 = 2Rh + h^2 = 2Rh\left(1 + \frac{h}{2R}\right)$ . Поскольку  $h \ll R$ , второе слагаемое в этой формуле много меньше первого, поэтому им можно пренебречь. Тогда  $D = \sqrt{2Rh} = 358$  км. **(2 балла)**

Поскольку  $D < R$  примерно в 18 раз, то площадь поверхности Земли, доступную взгляду космонавта можно вычислить как площадь круга (угол  $\Gamma HO$  равен  $87^\circ$ , поэтому участок наблюдаемой Земли близок к плоской поверхности):  $S = \pi D^2$ . **(1 балл)**

Полная площадь поверхности Земли вычисляется как площадь шара:  $S = 4\pi R^2$ . **(1 балл)**

Отношение этих площадей составляет  $\frac{S}{S} = \frac{h}{2R} \approx 0,00078$  или 0,078 %. **(2 балла)**

6. На рисунках ниже представлены две кривые блеска. Кривая блеска – это функция изменения яркости астрономического объекта во времени. Одна из кривых соответствует затменной двойной звезде, а другая – экзопланетной системе.

Рис. 1.

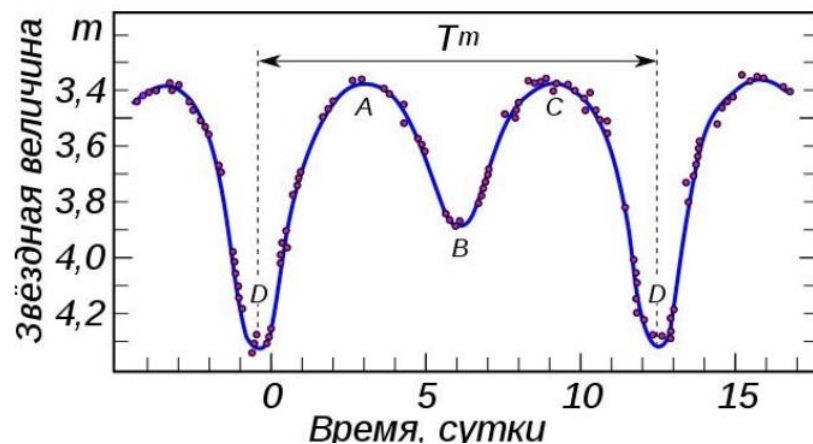
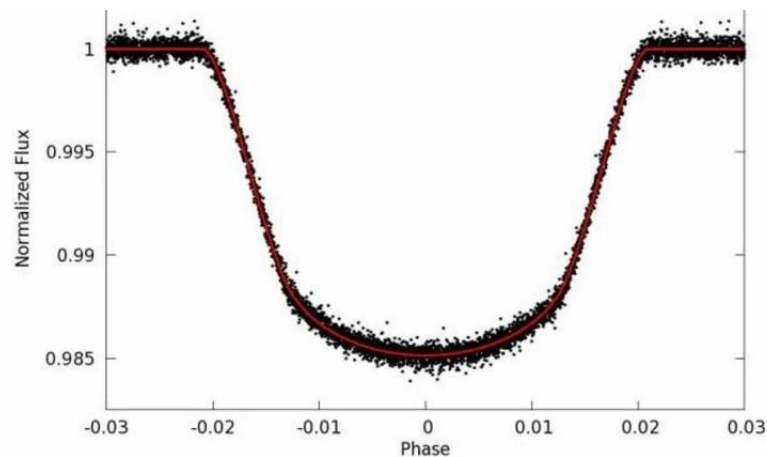


Рис. 2.



Normalized Flux – нормализованный поток, Phase – фаза (период)

Обоснуйте, какая из этих зависимостей соответствует двойной звезде, а какая – экзопланетной системе.

### Возможное решение

1) Первая кривая блеска содержит два явно выраженных экстремума, а вторая – только один. В первом случае, экстремумы можно объяснить перекрытием звезд друг друга при вращении около общего центра гравитации. Во втором случае, уменьшение яркости светила связано с прохождением экзопланеты по диску звезды. Экзопланета не является источником излучения, и диск планеты закрывает излучение, идущее от звезды.

2) В качестве второго аргумента можно привести изменение блеска в относительном выражении. В первом случае видно, что яркость меняется практически на одну звездную величину (примерно в 2,5 раза). Во втором случае изменение яркости незначительно, около 1,5%. Это связано с тем, что размер планеты мал по сравнению с размерами звезды.

Ответ: Таким образом, первая кривая блеска соответствует затменной двойной звезде, а вторая – экзопланетной системе.

### Оценивание.

1 пункт решения – 4 балла.

2 пункт решения – 4 балла.