

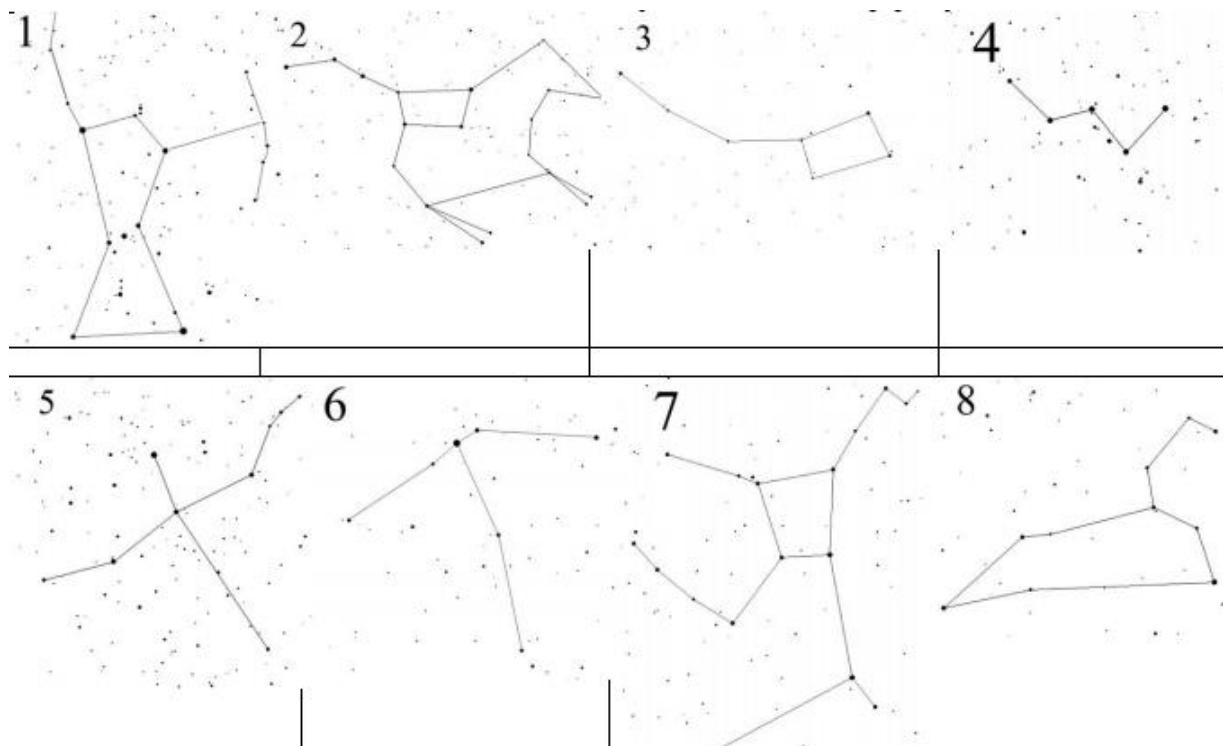
Муниципальный этап

7-8 класс

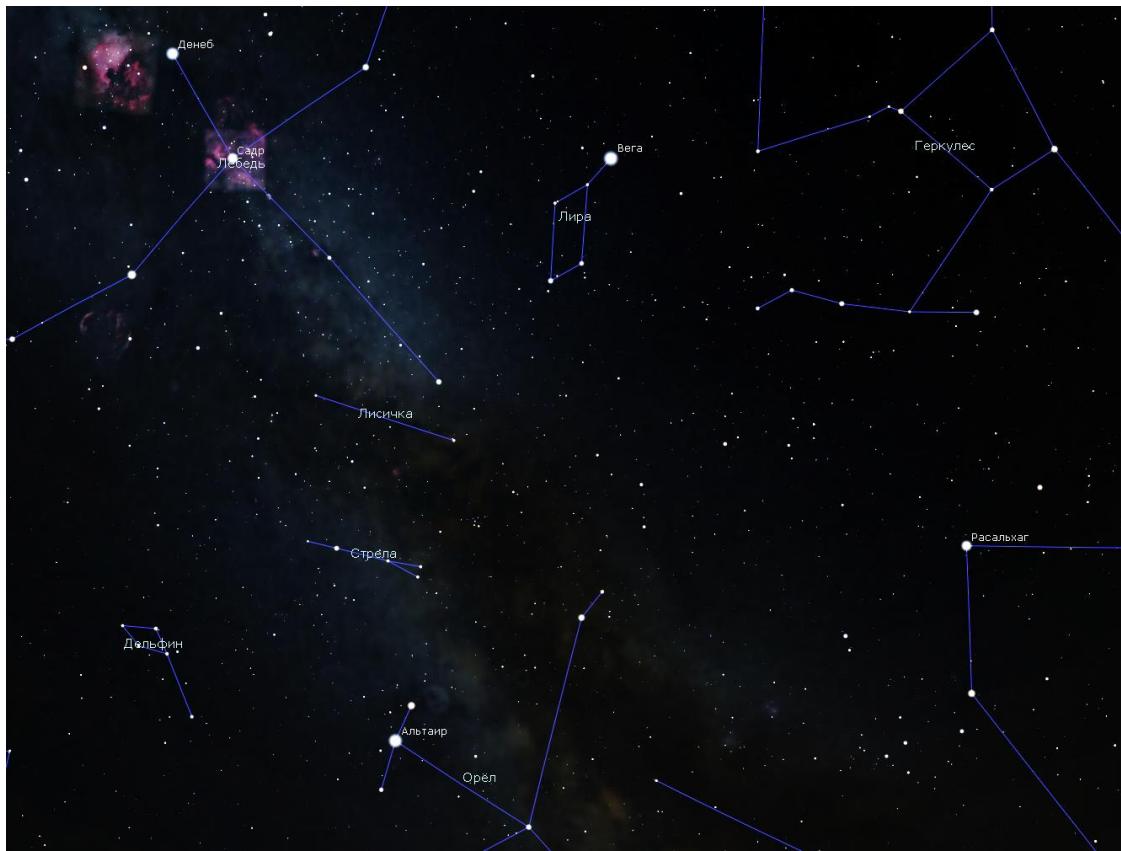
*Время выполнения –*

*2 астрономических часа*

1. На пронумерованных рисунках приведены созвездия: Геркулес, Большая Медведица, Малая Медведица, Кассиопея, Лебедь, Лев, Орел, Орион. В ответе выпишите названия созвездий и соответствующий им номер рисунка.



2. Осенью на небе северного полушария три яркие звёзды разных созвездий образуют фигуру, называемую астеризмом («осенним треугольником»).
- а) Найдите и назовите звёзды, составляющие этот треугольник, в какие созвездия они входят?
- б) Дайте хотя бы одну характеристику каждой из указанных звёзд (цвет, спектральный класс, размер, удалённость и т.д.).
- в) Объясните, почему этот астеризм легко увидеть осенью именно ночью и какие ещё особенности делают его таким заметным на осеннем небе.



**3.** Пусть на некотором астероиде находится межпланетная станция. Сделайте рисунок, на котором покажите взаимное положение Земли, Солнца и станции для случая, когда сигнал от нее доходит до Земли за минимально и максимально возможное время. Радиус орбиты астероида 3 а.е. Рассчитайте время для каждого случая.

**4.** Рассчитайте расстояние от Земли до Луны, используя известные размеры и тот факт, что видимые размеры Луны и Солнца совпадают на нашем небе.

Данные:

Среднее расстояние от Земли до Солнца  $R = 150$  млн. км.

Диаметр Луны  $D_L = 3470$  км, диаметр Солнца  $D_\odot = 1,4$  млн. км.

**5.** Любитель астрономии в Архангельске в течение лета на даче наблюдал за гномоном (вертикально вбитым колышком на площадке во дворе), надеясь установить дату и время, когда гномон не будет отбрасывать тени при освещении Солнцем. Удалось ли ему это увидеть, и, если нет, почему? Считать, что все дни были ясными. Координаты Архангельска равны  $64^{\circ}33' с. ш.$  и  $40^{\circ}32' в.д.$  В каких точках земного шара и как часто гномон не отбрасывает тень?

**6.** Средний астероид диаметром около 1 километра раз в сто тысяч лет приближается к Земле на удалении от центра не более 40 000 километров. Оцените вероятность случайного попадания подобного астероида в поверхность Земли за этот промежуток времени.

*Примечание:* площадь круга  $S = \pi R^2$ , где  $\pi \approx 3,14$ , площадь сферы  $S = 4\pi r^2$ , радиус Земли  $R=6400$  км.

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2025-2026 уч. год

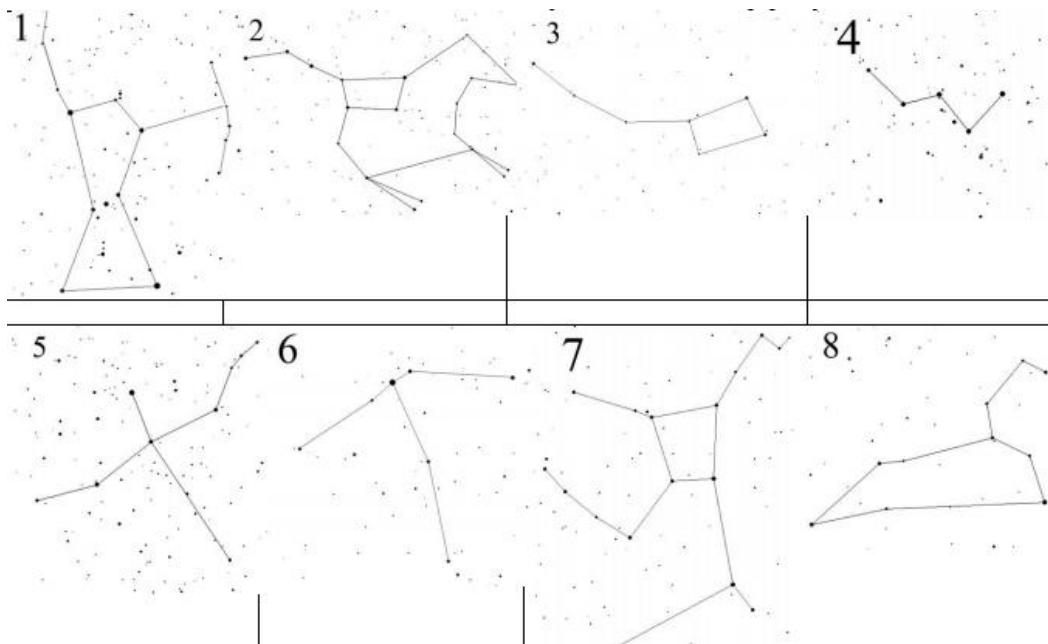
Муниципальный этап

9 класс

*Время выполнения –*

*3 астрономических часа*

1. На пронумерованных рисунках приведены созвездия: Геркулес, Большая Медведица, Малая Медведица, Кассиопея, Лебедь, Лев, Орел, Орион. В ответе выпишите названия созвездий и соответствующий им номер рисунка.



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

3. Телескопу доступны звезды 18 звездной величины. Видна ли в него двойная звезда, каждая компонента которой имеет 19 звездную величину? Ответ обоснуйте.

**4.** Оцените с какого расстояния от Земли спутник DSCVOR сделал приведенную фотографию транзита Луны на фоне Земли?

Диаметры Луны и Земли равны 3470 км и 12700 км, среднее расстояние от Луны до Земли 384000 км.



**5.** Человек находится на берегу моря и наблюдает за удалением парусного судна прямо от линии побережья. Его глаза находятся на высоте 1 метра 70 сантиметров над уровнем воды, а высота мачты судна, измеряемая от уровня воды, составляет 5 метров. Найдите расстояние между человеком и судном в тот момент, когда верхушка мачты исчезнет за краем горизонта. Нарисуйте схему ситуации. Радиус Земли: 6400 километров.

**6.** Пусть на некотором астероиде находится межпланетная станция. Сделайте рисунок, на котором покажите взаимное положение Земли, Солнца и станции для случая, когда сигнал от нее доходит до Земли за минимально и максимально возможное время. Радиус орбиты астероида 3 а.е. Рассчитайте время для каждого случая.

# Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2025-2026 уч. год

## Муниципальный этап

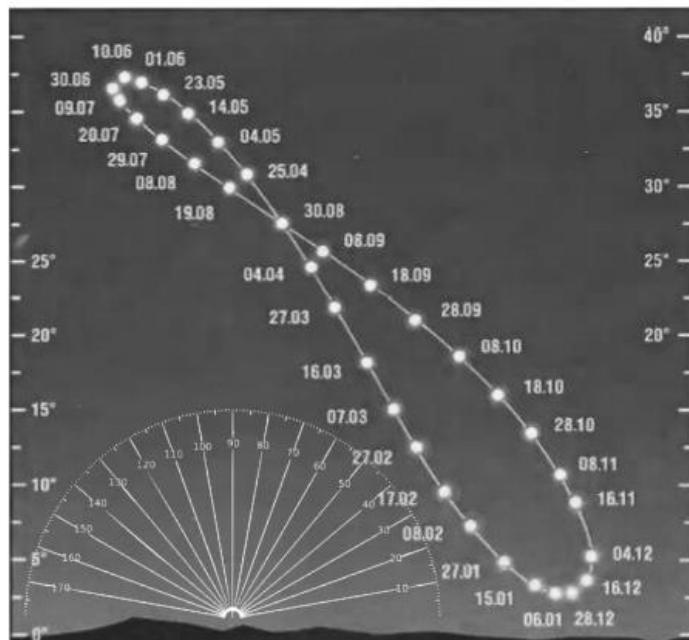
### 10 класс

*Время выполнения –*

*3 астрономических часа*

**1.** На рисунке показана аналемма – кривая, имеющая форму восьмёрки и соединяющая последовательные положения 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) Оцените широту места наблюдения.



**2.** Две одинаковые нейтронные звезды обращаются вокруг общего центра масс по круговой орбите с периодом 7 часов. На каком расстоянии друг от друга они находятся, если масса каждой равна  $2,8 \cdot 10^{30}$  кг?

**3.** Оцените с какого расстояния от Земли спутник DSCVOR сделал приведенную фотографию транзита Луны на фоне Земли?

Диаметры Луны и Земли равны 3470 км и 12700 км, среднее расстояние от Луны до Земли 384000 км.



**4.** 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.

**5.** Сегодня произошло покрытие Венеры Луной. Может ли завтра произойти лунное или солнечное затмение? Дать объяснение.

**6.** На какое минимальное расстояние приближается к Солнцу астероид (11480) Великий Устюг, открытый 7 сентября 1986 года в крымской обсерватории, если период его обращения вокруг Солнца 3,285 года, а расстояние в афелии составляет 2,589 а.е.

# Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2025-2026 уч. год

## Муниципальный этап

### 11 класс

*Время выполнения –  
3 астрономических часа*

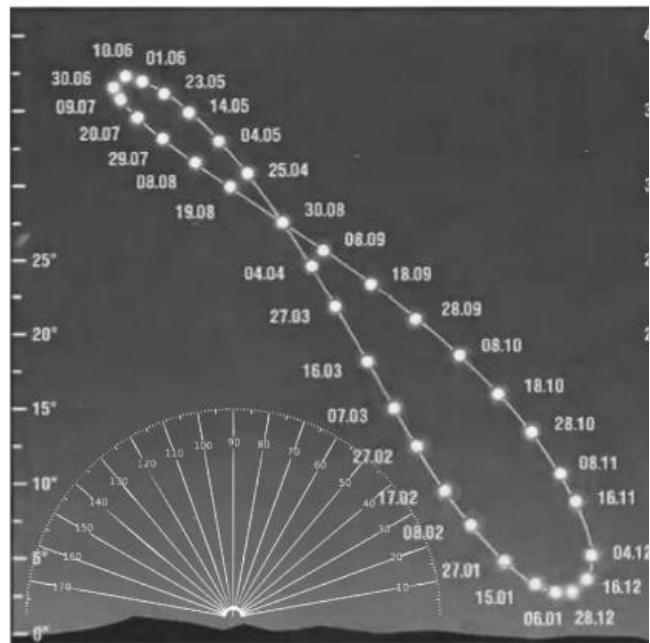
**1.** В зените, светилась Полярная звезда, а под ковшом Малой Медведицы раскинулась Большая Медведица. Верно ли это наблюдение, если оно сделано в Архангельске? Почему?

**2.** На рисунке показана аналемма – кривая, имеющая форму восьмёрки и соединяющая последовательные положения 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) Оцените широту места наблюдения.



**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.

**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.

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

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.

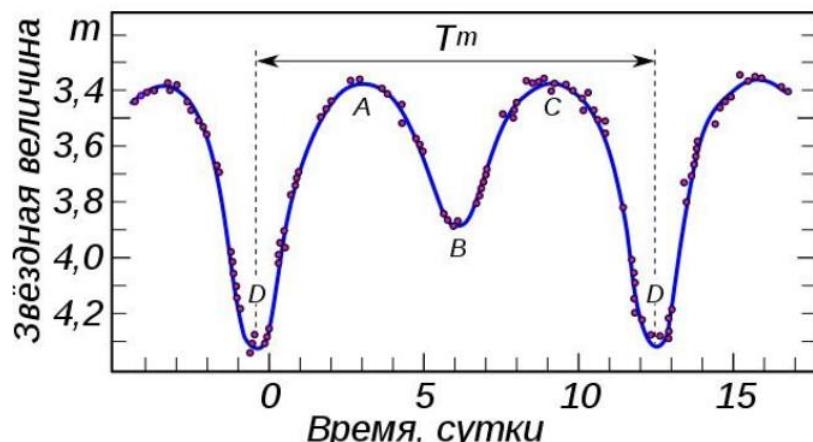
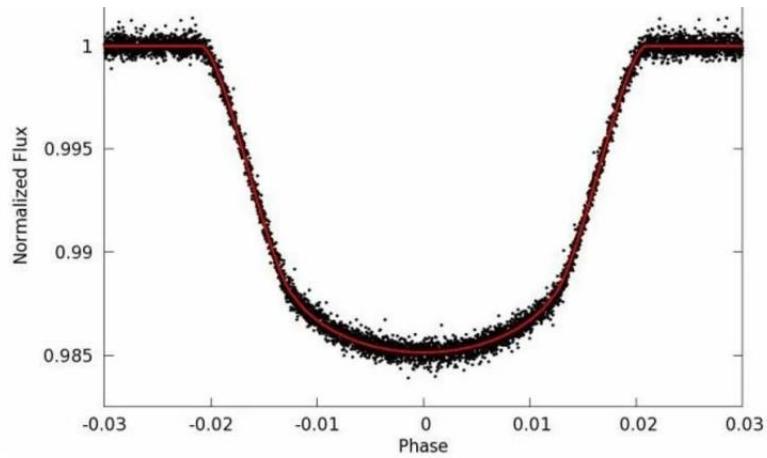


Рис. 2.



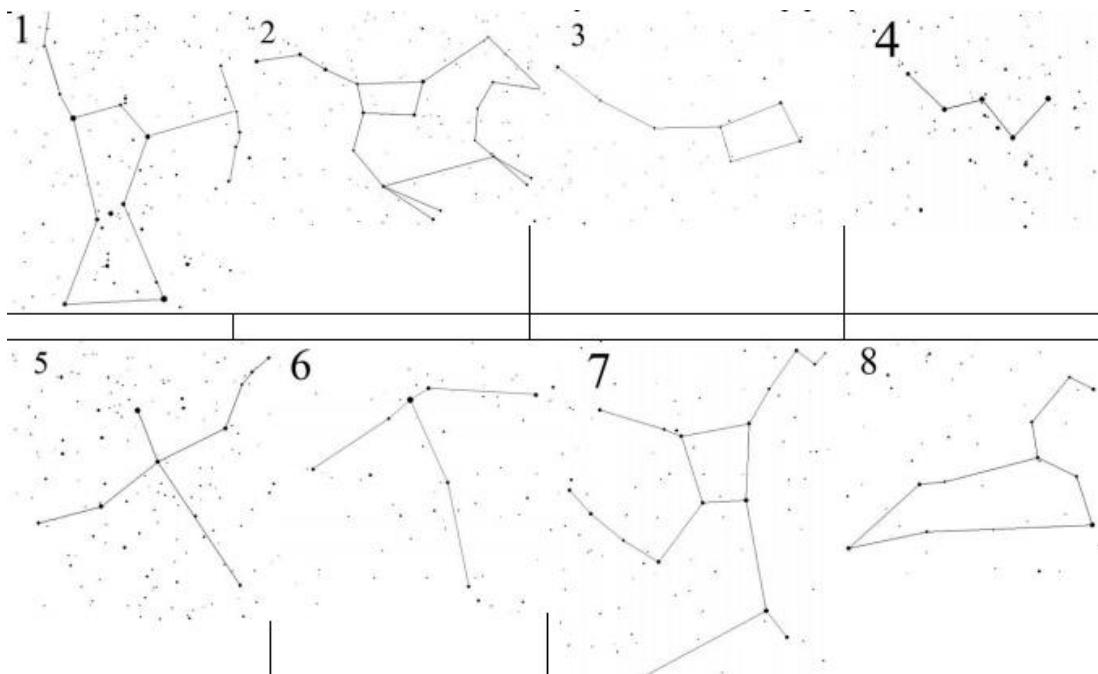
Normalized Flux – нормализованный поток, Phase – фаза (период)

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

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2025-2026 уч. год**  
**Муниципальный этап**  
**7-8 класс**

**Время выполнения –**  
**2 астрономических часа**

**1.** На пронумерованных рисунках приведены созвездия: Геркулес, Большая Медведица, Малая Медведица, Кассиопея, Лебедь, Лев, Орел, Орион. В ответе выпишите названия созвездий и соответствующий им номер рисунка.



**Возможное решение**

Орион – 1, Большая Медведица – 2, Малая Медведица – 3, Кассиопея – 4, Лебедь – 5, Орел – 6, Геркулес – 7, Лев – 8.

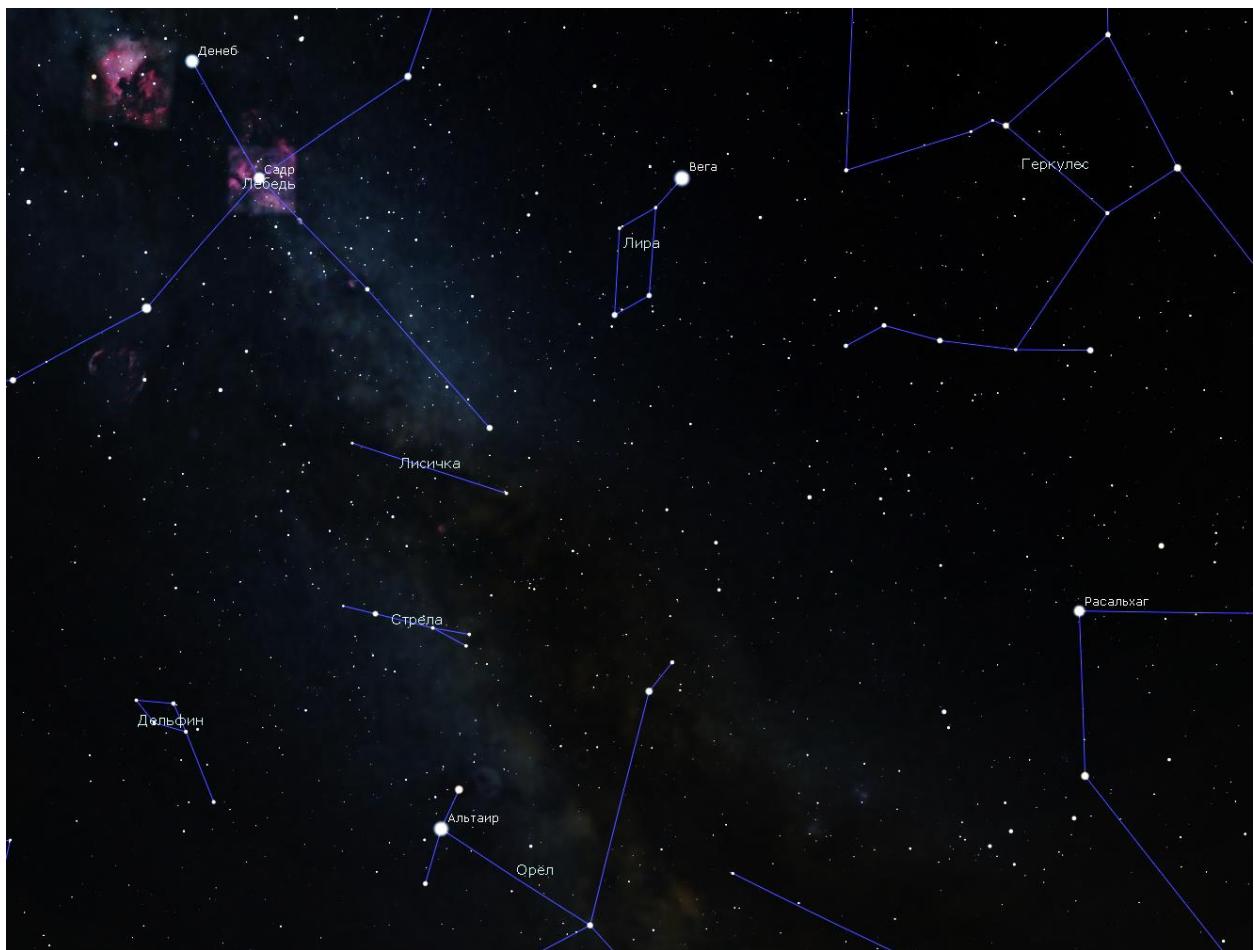
**Оценивание:** за каждый верно подписанный рисунок 1 балл.

**2.** Осенью на небе северного полушария три яркие звёзды разных созвездий образуют фигуру, называемую астеризмом («осенним треугольником»).

а) Найдите и назовите звёзды, составляющие этот треугольник, в какие созвездия они входят?

б) Дайте хотя бы одну характеристику каждой из указанных звёзд (цвет, спектральный класс, размер, удалённость и т.д.).

в) Объясните, почему этот астеризм легко увидеть осенью именно ночью и какие ещё особенности делают его таким заметным на осеннем небе.



## Возможное решение

1. Составляющие звёзды осеннего треугольника: **(2 балла)**

Денеб (созвездие Лебедь), Альтаир (созвездие Орёл), Вега (созвездие Лира),

2. Характеристика звезд: **(максимум 3 балла - по 1 баллу за характеристику каждой звезды)**

Денеб — одна из крупнейших звёзд неба, находится далеко от нас (около 1500 световых лет), обладает огромной светимостью и относится к классу сверхгигантов, яркая голубовато-белая звезда (спектр A2Ia).

Альтаир — относительно близкая звезда (менее 17 световых лет), белая звезда главной последовательности (спектр A7V).

Вега — ярко выраженная звезда средней близости (около 25 световых лет), используется как эталон белого цвета в шкале спектральных типов, бело-голубая звезда главной последовательности (спектр A0Va).

3. Осенний треугольник хорошо различим осенью потому что: **(3 балла)**

Эти звёзды расположены высоко над горизонтом вечером после захода солнца, особенно в сентябре—октябре.

Звезды достаточно яркие, чтобы привлекать внимание даже на городском небе с умеренным уровнем засветки.

Расположение треугольника позволяет легко находить ориентиры для наблюдения остальных участков неба, помогая начинающим наблюдателям ориентироваться на осеннем звёздном своде.

**3.** Пусть на некотором астероиде находится межпланетная станция. Сделайте рисунок, на котором покажите взаимное положение Земли, Солнца и станции для случая, когда сигнал от нее доходит до Земли за минимально и максимально возможное время. Радиус орбиты астероида 3 а.е. Рассчитайте время для каждого случая.

### Возможное решение

Минимальное время передачи сигнала:

Это достигается, когда Земля находится ближе всего к астероиду.

Угол между направлениями на Землю и астероид (относительно Солнца) близок к нулю градусов.

Тогда расстояние от Земли до астероида:  $D_{\min} = |R - E| = |3 - 1| \text{ а.е.} = 2 \text{ а.е.}$

Максимальное время передачи сигнала:

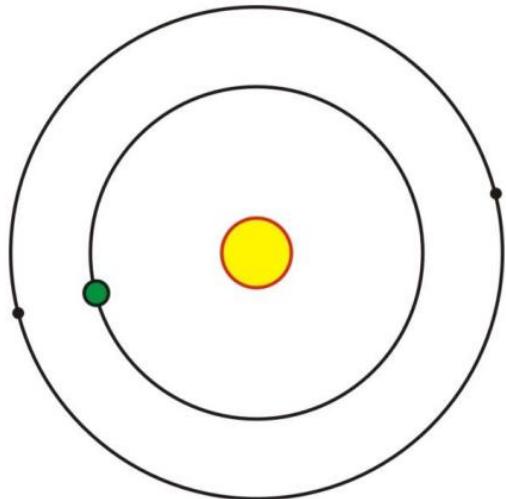
Наибольшее время пути сигнала наблюдается, когда Земля и астероид находятся далеко друг от друга.

Т.е. Земля должна располагаться на противоположной стороне от Солнца относительно астероида.

Следовательно, наибольшее расстояние:  $D_{\max} = E + R = 1 + 3 = 4 \text{ а.е.}$

Используя формулу:  $T = D/c$ , где  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ , а 1.а.е. = 150 млн.км получаем:  $T_{\max} = 2000 \text{ с} \approx 33 \text{ мин } 20 \text{ с}$ ,  $T_{\min} = 1000 \text{ с} \approx 16 \text{ мин } 40 \text{ с}$ .

**Оценивание:** Правильный рисунок - 4 балла, расчет времени для каждого случая по 2 балла.



**4.** Рассчитайте расстояние от Земли до Луны, используя известные размеры и тот факт, что видимые размеры Луны и Солнца совпадают на нашем небе.

Данные:

Среднее расстояние от Земли до Солнца  $R = 150 \text{ млн. км}$ .

Диаметр Луны  $D_L = 3470 \text{ км}$ , диаметр Солнца  $D_{\odot} = 1,4 \text{ млн. км}$

### Возможное решение

Мы знаем, что Солнце и Луна имеют одинаковые угловые размеры на небе. Поэтому отношение расстояния до каждого тела к его диаметру должно быть приблизительно одинаковым. **(4 балла)**

$R / D_{\odot} = D / D_L$ , Где  $D$  — искомое расстояние до Луны. Откуда:

$D = D_L \times (R / D_{\odot})$ , подставляя численные данные получаем

$D = 3470 \text{ км} \times (150000000 \text{ км} / 1400000 \text{ км}) \approx 372000 \text{ км}$ . **(4 балла)**

**5.** Любитель астрономии в Архангельске в течение лета на даче наблюдал за гномоном (вертикально вбитым колышком на площадке во дворе), надеясь установить дату и время, когда гномон не будет отбрасывать тени при освещении

щении Солнцем. Удалось ли ему это увидеть, и, если нет, почему? Считать, что все дни были ясными. Координаты Архангельска равны  $64^{\circ}33'$  с. ш. и  $40^{\circ}32'$  в.д. В каких точках земного шара и как часто гномон не отбрасывает тень?

### **Возможное решение**

Нет, не удалось. Гномон не отбрасывает тени, если Солнце находится точно в зените (прямо над точкой наблюдения). **(2 балла)**

Так как плоскость орбиты Земли составляет с плоскостью экватора угол  $23^{\circ} 26'$ , такое возможно на широтах северного и южного тропиков ( $23^{\circ} 26'$  с.ш. 22 июня и  $23^{\circ} 26'$  ю.ш. 22 декабря - один раз в год), и на широтах, лежащих ближе к экватору (два раза в году). **(4 балла)**

Архангельск расположен на широте  $64^{\circ}33'$  с. ш, и на таких широтах Солнце не может быть в зените. **(2 балла)**

**6.** Средний астероид диаметром около 1 километра раз в сто тысяч лет приближается к Земле на удалении от центра не более 40 000 километров. Оцените вероятность случайного попадания подобного астероида в поверхность Земли за этот промежуток времени.

*Примечание:* площадь круга  $S = \pi R^2$ , где  $\pi \approx 3,14$ , площадь сферы  $S = 4\pi r^2$ , радиус Земли  $R=6\ 400\text{км}$ .

### **Возможное решение**

Площадь поперечной проекции Земли:  $S_{\text{Земля}} = \pi R^2 = 3,14 \times (6\ 400)^2 \approx 1,29 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ . **(2 балла)**

Площадь сферы вокруг Земли:

$S_{\text{окружающая сфера}} = 4\pi r^2 = 4 \times 3,14 \times (40\ 000)^2 \approx 2 \cdot 10^{10} \text{ км}^2$ . **(2 балла)**

Вероятность попадания астероида в Землю:

$P = S_{\text{Земля}} / S_{\text{окружающая сфера}} = 1,29 \cdot 10^8 / 2 \cdot 10^{10} = 0,00645$  или  $0,645\%$  **(4 балла)**

# Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2025-2026 уч. год

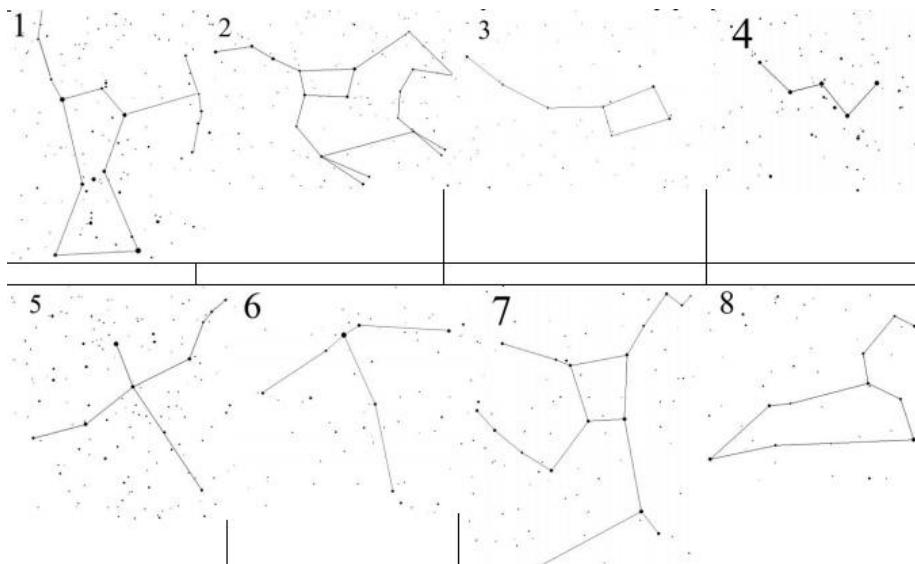
## Муниципальный этап

### 9 класс

*Время выполнения –*

*3 астрономических часа*

- 1.** На пронумерованных рисунках приведены созвездия: Геркулес, Большая Медведица, Малая Медведица, Кассиопея, Лебедь, Лев, Орел, Орион. В ответе выпишите названия созвездий и соответствующий им номер рисунка.



#### **Возможное решение**

Орион – 1, Большая Медведица – 2, Малая Медведица – 3, Кассиопея – 4, Лебедь – 5, Орел – 6, Геркулес – 7, Лев – 8.

**Оценивание:** за каждый верно подписанный рисунок 1 балл.

- 2.** В зените, светилась Полярная звезда, а под ковшом 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  $\phi \approx 64^\circ$ , 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**

**3.** Телескопу доступны звезды 18 звездной величины. Видна ли в него двойная звезда, каждая компонента которой имеет 19 звездную величину? Ответ обоснуйте.

### **Возможное решение**

По определению звездной величины звезда  $n$ -й величины ярче звезды  $(n+1)$ -й величины в  $\sqrt[5]{100} \approx 2.5$  раза. **(2 балла)**

Две звезды 19 величины ярче одной звезды 19 же величины только в 2 раза. **(2 балла)**

Следовательно, такая двойная слабее, чем звезда 18 величины, и телескопу недоступна. **(4 балла)**

Ответ без обоснования оценивается в 0 баллов.

**4.** Оцените с какого расстояния от Земли спутник DSCVOR сделал приведенную фотографию транзита Луны на фоне Земли?

Диаметры Луны и Земли равны 3470 км и 12700 км, среднее расстояние от Луны до Земли 384000 км.



### **Возможное решение**

Угловые диаметры Луны и Земли при фотографировании спутником при транзите (т.к. Луна лежит на луче зрения, исходящем из спутника и направленном на Землю) равны, соответственно,  $\varphi_{\text{л}} = \frac{d_{\text{л}}}{L-D}$ ,  $\varphi_3 = \frac{d_3}{L}$ , где  $d_{\text{л}}$  и  $d_3$  – диаметры Луны и Земли,  $L$  – расстояние от спутника до Земли,  $D$  – расстояние от Луны до Земли. **(4 балла)**

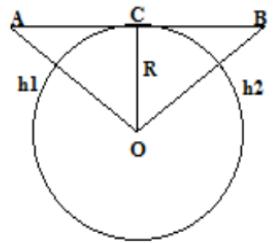
Искомое расстояние выражается как  $L = \frac{D}{1 - \frac{\varphi_3}{\varphi_{\text{л}}} \frac{d_{\text{л}}}{d_3}}$ . **(2 балла)**

Из фото видно, что отношение угловых диаметров  $\approx 81 \text{ мм} / 30 \text{ мм} = 2.7$ . После подстановки получим  $L \approx 1,46 \text{ млн. км}$ . **(2 балла)**

**5.** Человек находится на берегу моря и наблюдает за удалением парусного судна прямо от линии побережья. Его глаза находятся на высоте 1 метра 70 сантиметров над уровнем воды, а высота мачты судна, измеряемая от уровня воды, составляет 5 метров. Найдите расстояние между человеком и судном в тот момент, когда верхушка мачты исчезнет за краем горизонта. Нарисуйте схему ситуации. Радиус Земли 6400 км.

### Возможное решение

Обозначим через  $h_1$  высоту глаз наблюдателя.  $h_2$  высоту мачты яхты,  $l_1$  - расстояние от глаз наблюдателя А до точки горизонта  $C$ ,  $l_2$  – расстояние от точки горизонта до мачты судна  $B$ . Тогда по теореме Пифагора:  $l_1^2 = OA^2 - OC^2 = (R + h_1)^2 - R^2 \approx 2Rh_1$ , где  $OC = R$ .



$$\text{Аналогично: } l_2^2 = OB^2 - OC^2 = (R + h_2)^2 - R^2 \approx 2Rh_2$$

Тогда расстояние от глаз наблюдателя до мачты судна равно (AB):  

$$l = l_1 + l_2 = \sqrt{2Rh_1} + \sqrt{2Rh_2}$$
.

Подставляем числовые значения и получаем:  $l \approx 12,7$  км.

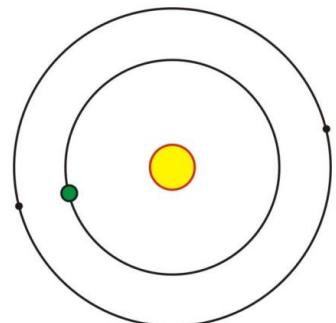
### Оценивание:

Правильно выполнен рисунок – **2 балла**. Определено расстояние от глаз наблюдателя до горизонта – **2 балла**. Определено расстояние от горизонта до вершины мачты – **2 балла**. Определено расстояние от глаз наблюдателя до яхты – **2 балла**.

**6.** Пусть на некотором астероиде находится межпланетная станция. Сделайте рисунок, на котором покажите взаимное положение Земли, Солнца и станции для случая, когда сигнал от нее доходит до Земли за минимально и максимально возможное время. Радиус орбиты астероида 3 а.е. Рассчитайте время для каждого случая.

### Возможное решение

Минимальное время передачи сигнала: это достигается, когда Земля находится ближе всего к астероиду. Угол между направлениями на Землю и астероид (относительно Солнца) близок к нулю градусов. Тогда расстояние от Земли до астероида:  $D_{\min} = |R - E| = |3 - 1| \text{ а.е.} = 2 \text{ а.е.}$



Максимальное время передачи сигнала: наибольшее время пути сигнала наблюдается, когда Земля и астероид находятся далеко друг от друга. Т.е. Земля должна располагаться на противоположной стороне от Солнца относительно астероида. Следовательно, наибольшее расстояние:  $D_{\max} = E + R = 1 + 3 = 4 \text{ а.е.}$

Используя формулу:  $T = D/c$ , где  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ , а 1.а.е. = 150 млн.км получаем:  $T_{\max} = 2000 \text{ с} \approx 33 \text{ мин } 20 \text{ с}$ ,  $T_{\min} = 1000 \text{ с} \approx 16 \text{ мин } 40 \text{ с}$ .

**Оценивание:** Правильный рисунок - **4 балла**, расчет времени для каждого случая **по 2 балла**.

# Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2025-2026 уч. год

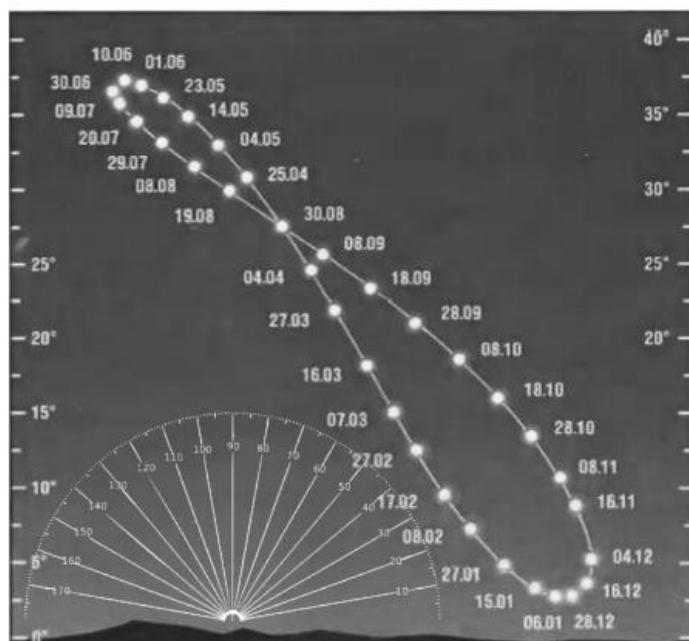
## Муниципальный этап

### 10 класс

*Время выполнения –*

*3 астрономических часа*

**1.** На рисунке показана аналемма – кривая, имеющая форму восьмёрки и соединяющая последовательные положения 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.



- Почему точки, соответствующие положению Солнца в дни весеннего и осеннего равноденствия не совпадают?
- В каком полушарии, в какое время суток делалась аналемма?
- Оцените широту места наблюдения.

#### Возможное решение

- 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)**
- Малая петля находится сверху, значит, наблюдения велись в северном полушарии (из-за эллиптичности орбиты). **(2 балла)**
- Аналемма наклонена влево, значит наблюдения велись в утреннее время. **(2 балла)**
- Угол между верхней и нижней концами восьмёрки приблизительно равен  $50^\circ$  – наблюдения велись примерно на  $50^\circ$  северной широты. **(2 балла)**

**2.** Две одинаковые нейтронные звезды обращаются вокруг общего центра масс по круговой орбите с периодом 7 часов. На каком расстоянии друг от друга они находятся, если масса каждой равна  $2,8 \cdot 10^{30}$  кг?

### Возможное решение

1) Звезды находятся на расстоянии  $2R$  друг от друга, где  $R$  – их радиус орбиты относительно центра масс.

2) По закону всемирного тяготения:  $F_{\text{грав.}} = G \frac{m^2}{(2R)^2}$  **(2 балла)**

3) По 2 закону Ньютона  $m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R = F_{\text{грав.}}$  **(2 балла)**

4) Приравнивая, находим искомое расстояние:

$$2R = \sqrt[3]{\frac{GmT^2}{2\pi^2}} \approx 1,8 \cdot 10^9 \text{ м} \quad \text{(4 балла).}$$

**3.** Оцените с какого расстояния от Земли спутник DSCVOR сделал приведенную фотографию транзита Луны на фоне Земли?

Диаметры Луны и Земли равны 3470 км и 12700 км, среднее расстояние от Луны до Земли 384000 км.



### Возможное решение

Угловые диаметры Луны и Земли при фотографировании спутником при транзите (т.к. Луна лежит на луче зрения, исходящем из спутника и направленном на Землю) равны, соответственно,  $\varphi_{\text{л.}} = \frac{d_{\text{л}}}{L-D}$ ,  $\varphi_{\text{з.}} = \frac{d_{\text{з.}}}{L}$ , где  $d_{\text{л.}}$  и  $d_{\text{з.}}$  – диаметры Луны и Земли,  $L$  – расстояние от спутника до Земли,  $D$  – расстояние от Луны до Земли. **(4 балла)**

Искомое расстояние выражается как  $L = \frac{D}{1 - \frac{\varphi_{\text{з.}}}{\varphi_{\text{л.}}} \frac{d_{\text{л.}}}{d_{\text{з.}}}}$ . **(2 балла)**

Из фото видно, что отношение угловых диаметров  $\approx 81 \text{ мм} / 30 \text{ мм} = 2,7$ . После подстановки получим  $L \approx 1,46 \text{ млн. км}$ . **(2 балла)**

**4.** При наблюдении с Земли Марс располагается в западной квадратуре, а комета — в восточной. С Земли комета имеет звездную величину  $7^{\text{m}}$ , а с Марса  $8^{\text{m}}$ . 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

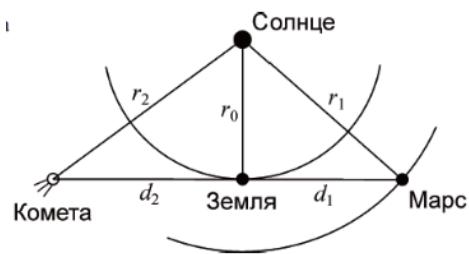
По условию задачи Солнце, Земля, Марс и комета фактически лежат в плоскости эклиптики. Изобразим их на рисунке. Марс и комета находятся в противоположных квадратурах, и Земля располагается около линии, соединяющей Марс и комету. Определим расстояние между Землей и Марсом:  $d_1\sqrt{r_1^2 - r_0^2} = 1,15$  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<sup>м</sup> 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  $d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{K}-1} = 2$  а.е.

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



5. Сегодня произошло покрытие Венеры Луной. Может ли завтра произойти лунное или солнечное затмение? Дать объяснение.

### Возможное решение

1. Венера является внутренней планетой (её орбита расположена внутри орбиты Земли). Поэтому Венера никогда не может быть видимой в противоположной Солнцу части неба (условие для лунного затмения). Поэтому лунное затмение произойти не может.

2. Что же касается солнечного затмения, ответ — да, может. Но только в том случае, если покрытие произошло на утреннем небе, так как стареющая Луна движется в сторону Солнца. А вот если покрытие произошло вечером (растущая Луна), то Луна будет «растянута», удаляясь на небе от Солнца. В этом случае солнечного затмения не будет.

### Оценивание.

1. Дан правильный ответ и указано, что Венера внутренняя планета и не бывает видна в противоположной Солнцу части неба (обязательное условие для лунного затмения) — 4 балла. За правильный ответ без объяснения — 1 балл.

2. Утверждение, что солнечное затмение произойти может – **2 балла**.  
За уточнение, что покрытие должно быть утренним, а не вечерним – **2 балла**.

**6.** На какое минимальное расстояние приближается к Солнцу астероид (11480) Великий Устюг, открытый 7 сентября 1986 года в крымской обсерватории, если период его обращения вокруг Солнца 3,285 года, а расстояние в афелии составляет 2,589 а.е.

### **Возможное решение**

Минимальное расстояние будет, когда астероид в перигелии своей орбиты.

1) Вычислим большую полуось  $a$  орбиты астероида (из III закона Кеплера):  $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ . В формуле индекс 1 соответствует Земле, а индекс 2 астероиду.

Учитывая период обращения Земли и большую полуось земной орбиты:  $a = \sqrt[3]{T^2} = 2,21$  а.е.

2) Т.к. расстояние в афелии  $Q=a(1+e)$ , то эксцентриситет орбиты составит  $e = \frac{Q-a}{a} = 0,171$

3) Расстояние в перигелии:  $q=a(1-e)=2,21 \cdot (1-0,171) = 1,83$  а.е.

### *Оценивание.*

Вычисление большой полуоси орбиты астероида на основании III закона Кеплера - **3 балла**

Определение эксцентриситета орбиты астероида - **2 балла**

Определение минимального расстояния, т.е. расстояния в перигелии – **3 балла**

Муниципальный этап

11 класс

*Время выполнения –  
3 астрономических часа*

**1.** В зените, светилась Полярная звезда, а под ковшом 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  $\phi \approx 64^\circ$ , 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?

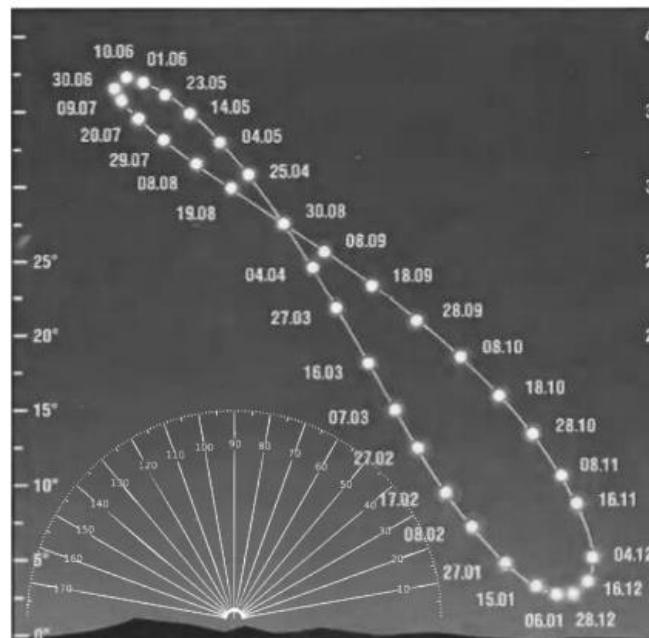
б) В каком полушарии, в какое время суток делалась аналемма?

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:

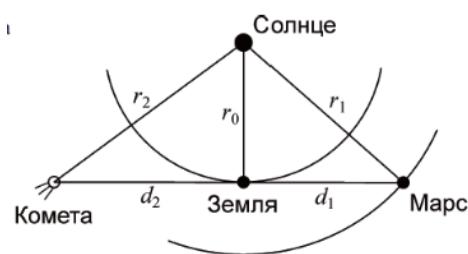
$$d_1 \sqrt{r_1^2 - r_0^2} = 1,15 \text{ а.е. (3 балла)}$$

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  $d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{K}-1} = 2$  а.е.

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

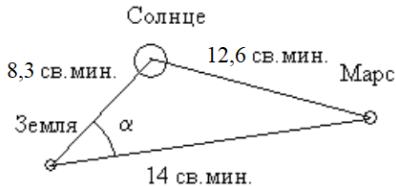


4. Для уточнения параметров орбиты Марса была проведена радиолокация планеты. Между моментом отправки сигнала с антенны дальней космической связи и моментом приема отраженного излучения прошло 28 минут. Оцените угловое расстояние между Солнцем и Марсом, считая, что расстояние (линейное) от Солнца до 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 одиних 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:  $OG$  через  $R$  и  $HG$  через  $D$ . Тогда длина отрезка  $HO$  будет равна  $R + h$ , где  $h = 10$  км - высота наблюдения. Получившийся треугольник  $HGO$  – 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.

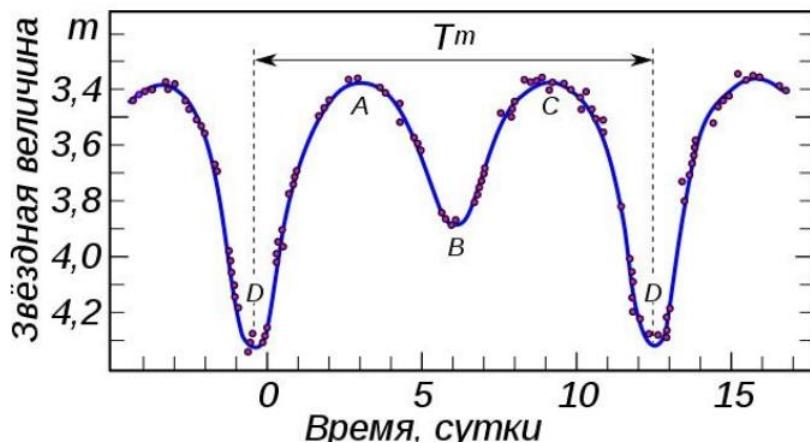
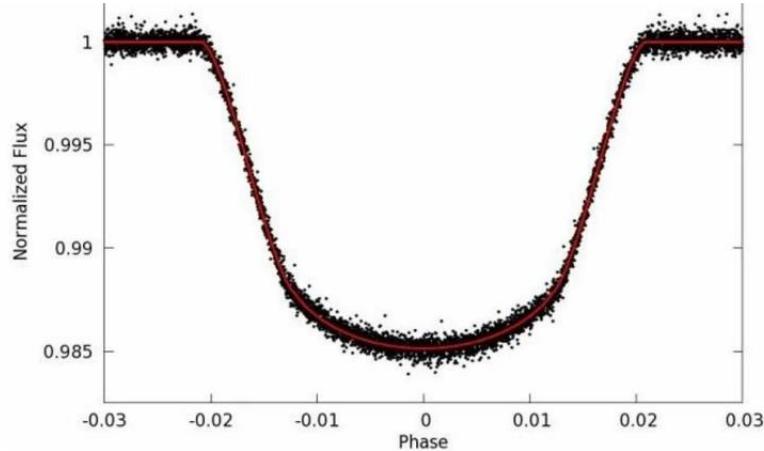


Рис. 2.



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**.