

# ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

Всероссийская олимпиада школьников

по АСТРОНОМИИ

Муниципальный этап

7 класс

Время выполнения работы – 90 мин.

Максимальное количество баллов – 48.

**КРАТКИЕ РЕШЕНИЯ**

## Задача 1.

Находясь в средних широтах и наблюдая в сентябре Меркурий низко над горизонтом, незадолго до захода планеты, ученик заметил, что в это же время в другой стороне горизонта взошла Луна. В какое время суток это произошло?

*Решение.*

*У Меркурия присутствует или утренняя, или вечерняя видимость (4 балла), при этом он не отдаляется от Солнца далее, чем на  $28^\circ$ , и наблюдается через несколько десятков минут после захода (или до восхода) Солнца. Поскольку Меркурий был «низко над горизонтом незадолго до захода планеты», это однозначно вечерняя видимость, вскоре после захода Солнца (4 балла), не более чем через час после него. Условие про средние широты «страхует» от маловероятного, но возможного варианта, когда Меркурий, обладая заметно большим склонением, чем Солнце, является в высоких широтах незаходящим (или почти незаходящим) светилом и виден длительное время после захода Солнца или перед его восходом.*

## Задача 2.

Рисунок 1. Снимок частного лунного затмения 28 октября 2023 года

В описании лунного затмения, произошедшего 28 октября 2023 года, на одном из интернет-сайтов было сказано: «...28 октября произойдет частное лунное затмение. Наблюдать его можно будет примерно в 22 часа, в Северном полушарии оно будет достаточно хорошо видно. Его длительность практически полтора часа. Луна в это время приобретет красноватый оттенок, так как ее частично закроет земная полутень».

На рисунке 1 приведен снимок максимальной фазы этого затмения. Исходя из него и того, что вы знаете про это явление, прокомментируйте, нет ли в описании неточностей.



*Решение.*

*В описании есть несколько неточностей.*

*1. Луна во время частных фаз затмения, тем более, как видно из фотографии, весьма малых (28 октября она составляла около 0.13), практически не меняет цвет и остаётся бело-жёлтой, потемневшая часть – тёмно-серая, почти чёрная (2 балла). При этом можно отметить, что наблюдая затмение фотографически, красноватый оттенок затмившейся части Луны всё же может быть обнаружен.*

*2. Красноватый оттенок во время затмения Луна приобретает не из-за того, что её закрывает тень или полутень Земли, а из-за того, что Луну освещают только преломлённые земной атмосферой и прошедшие через неё (и оттого красные) солнечные лучи (3 балла).*

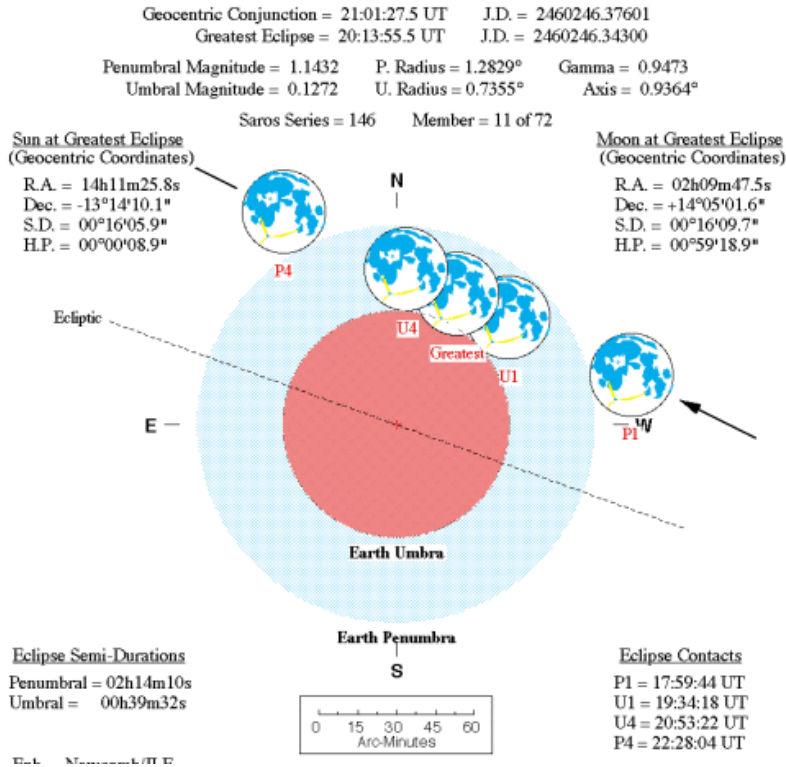
# ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

3. Во время частных теневых фаз затмения Луна уже полностью погрузилась в земную полутьнь, а частично – в тень нашей планеты (3 балла).

Для понимания геометрии прошедшего затмения приводим его схему.

## Partial Lunar Eclipse of 2023 Oct 28



### Задача 3.

Наблюдая Солнце на одной из землеподобных планет, освоенных в будущем, ученик заметил, что в самый длинный день года Солнце (т.е. материнская звезда) освещает дно самого глубокого колодца, а в дату зимнего солнцестояния на 24 часа наступает полярная ночь. Определите, на какой угол наклонена плоскость экватора планеты к её орбите.

*Решение.*

В случае, когда «в самый длинный день года их солнце освещает дно самого глубокого колодца» речь идёт про то, что в день летнего солнцестояния полуденная высота светила равна  $90^\circ$  (2 балла).

В случае, когда в зимнее солнцестояние на 24 часа наступает полярная ночь, можно считать, что полуденная высота светила около  $0^\circ$  (2 балла). Учтя, что изменение высоты светила составляет  $\Delta h = 2\varepsilon$  (это следует из формулы верхней кульминации  $h = 90 - \varphi + \delta$ , в первом случае  $\delta = \varepsilon$ , во втором  $\delta = -\varepsilon$ ), моментально получим  $\Delta h = 90^\circ$  и  $\varepsilon = 45^\circ$  (4 балла).

*Примечание.* Внимательные участники могут увидеть в задаче отсыл к истории про определение радиуса земли Эратосфеном.

### Задача 4.

Восход или заход Луны над Казанским Кремлём изображён на фото (рис 2), полученном в режиме мультиэкспозиции (когда на один кадр делается несколько снимков)?

# ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023



Рисунок 2. Луна над Казанским Кремлём.

*Решение.*

Поскольку Казань расположена в Северном полушарии (2 балла), то суточное движение светил по небесной сфере вблизи горизонта происходит «слева-направо» (4 балла). Поэтому на фото – восход Луны (2 балла вывод).

Примечание: без указания полушария и аргументации оценка не может быть полной даже при верном ответе. Например, просто при утверждении «это восход» за задачу не может быть выставлено более 2 баллов, при «движение слева направо, поэтому это восход» задача не может быть оценена более, чем в 6 баллов.

## Задача 5.

В Солнечной системе запущен спутник. Плоскость орбиты спутника совпадает с эклиптической, эксцентриситет орбиты  $e=(9/22)$ , большая полуось  $a=2$  а.е. Вычислите, во сколько раз меняется расстояние от Земли до спутника в противостоянии, и укажите на рисунке, почему это происходит.

*Решение.*

Прежде всего, требуется указать, что изменение расстояния «Спутник-Земля» в противостоянии меняется из-за разного расстояния от спутника до Солнца (аналог с великими противостояниями Марса) (1 балл), а удаление спутника от Земли равно его расстоянию до Солнца, уменьшенному на  $1$  а.е.

**(этот вывод + верный рисунок с конфигурацией оценивается в 2 балла)**

В указанном случае перигелийное расстояние спутника  $q=a(1-e)$  (1 балл),

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_1=q-1$  (1 балл),

афелийное расстояние спутника  $Q=a(1+e)$  (1 балл),

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_2=Q-1$  (1 балл).

Подставив численные значения, получим, что  $r_2/r_1=10$  (1 балл ответ)

## Задача 6.

Шаровое звёздное скопление состоит из  $10^4$  одинаковых звёзд, каждая из которых имеет видимый блеск  $13^m$ . Видно ли оно невооружённым глазом с Земли, и в каком полушарии небесной сферы такие скопления есть в реальности?

## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

*Решение.*

*Поскольку  $10^4$  одинаковых звёзд дают выигрыш по яркости в  $100 \cdot 100$  раз, каждые  $100$  раз – это  $5^m$ , то суммарный выигрыш составит  $10^m$  (2 балла).  $13-10=3^m$  – такова видимая яркость всего скопления (2 балла). Но видно невооружённым глазом (2 балла). На небе Земли нет шаровых скоплений такой яркости, ни в одном из полушарий (2 балла).*

*Примечание: Такой блеск сравним с яркостью звёзд созвездия Кассиопея или, если говорить о диффузных объектах, с яркостью Туманности Андромеды, видимой невооружённым глазом.*

### **Справочные данные:**

1а.е.= $1.496 \cdot 10^8$  км; 1пк=206265 а.е.

Масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, масса Земли  $6 \cdot 10^{24}$  кг, масса Марса  $6 \cdot 10^{23}$  кг, масса Луны  $7 \cdot 10^{22}$  кг.

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

**Всероссийская олимпиада школьников**

**по АСТРОНОМИИ**

**Муниципальный этап**

**8 класс**

**Время выполнения работы – 90 мин.**

Максимальное количество баллов – 48.

***КРАТКИЕ РЕШЕНИЯ***

**Задача 1.**

Находясь в средних широтах и наблюдая в сентябре Меркурий низко над горизонтом, незадолго до захода планеты, ученик заметил, что в это же время в другой стороне горизонта взошла Луна. В какое время суток это произошло?

*Решение.*

*У Меркурия присутствует или утренняя, или вечерняя видимость (4 балла), при этом он не отдаляется от Солнца далее, чем на  $28^\circ$  и наблюдается через несколько десятков минут после захода (или до восхода) Солнца. Поскольку Меркурий был «низко над горизонтом незадолго до захода планеты», это однозначно вечерняя видимость, вскоре после захода Солнца (4 балла), не более чем через час после него. Условие про средние широты «страхует» от маловероятного, но возможного варианта, когда Меркурий, обладая заметно большим склонением, чем Солнце, является в высоких широтах незаходящим (или почти незаходящим) светилом и виден длительное время после захода Солнца или перед его восходом.*

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

**Задача 2.**

Рисунок 1. Снимок  
частного лунного затмения  
28 октября 2023 года



В описании лунного затмения, произошедшего 28 октября 2023 года, на одном из интернет-сайтов было сказано: «...28 октября произойдет частное лунное затмение. Наблюдать его можно будет примерно в 22 часа, в Северном полушарии оно будет достаточно хорошо видно. Его длительность практически полтора часа. Луна в это время приобретет красноватый оттенок, так как ее частично закроет земная полутень».

На рисунке 1 приведен снимок максимальной фазы этого затмения. Исходя из него и того, что вы знаете про это явление, прокомментируйте, нет ли в описании неточностей.

*Решение.*

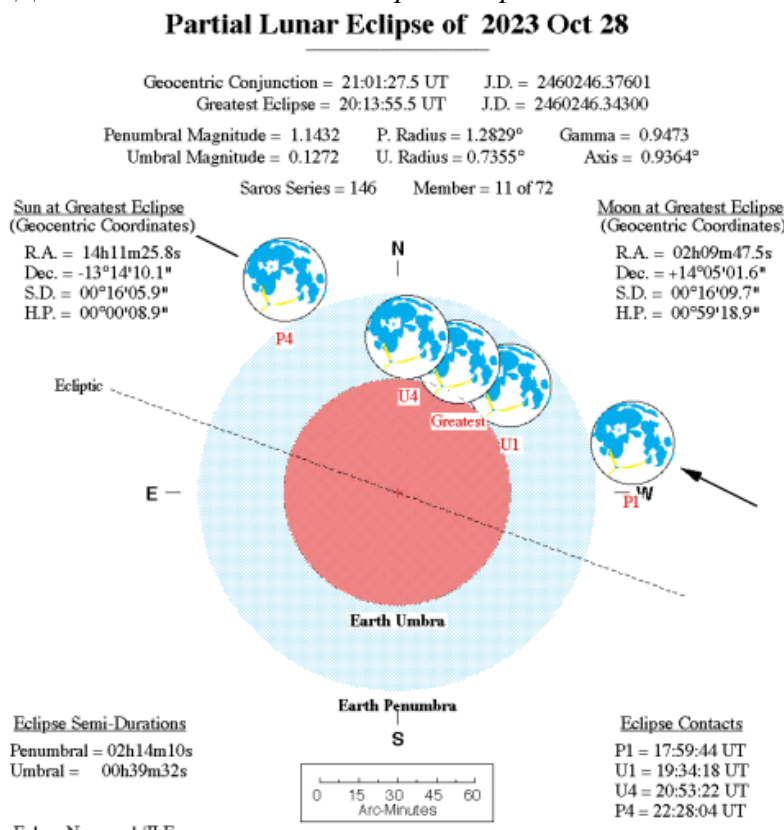
*В описании есть несколько неточностей.*

1. Луна во время частных фаз затмения, тем более, как видно из фотографии, весьма малых (28 октября она составляла около 0.13), практически не меняет цвет и остаётся бело-жёлтой, потемневшая часть – тёмно-серая, почти чёрная (2 балла). При этом можно отметить, что наблюдая затмение фотографически, красноватый оттенок затмившейся части Луны всё же может быть обнаружен.

2. Красноватый оттенок во время затмения Луна приобретает не из-за того, что её закрывает тень или полутень Земли, а из-за того, что Луну освещают только преломлённые земной атмосферой и прошедшие через неё (и оттого красные) солнечные лучи (3 балла).

3. Во время частных теневых фаз затмения Луна уже полностью погрузилась в земную полутень, а частично – в тень нашей планеты (3 балла).

Для понимания геометрии прошедшего затмения приводим его схему.



## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

### Задача 3.

Наблюдая Солнце на одной из землеподобных планет, освоенных в будущем, ученик заметил, что в самый длинный день года Солнце (т.е. материнская звезда) освещает дно самого глубокого колодца, а в дату зимнего солнцестояния на 24 часа наступает полярная ночь. Определите, на какой угол наклонена плоскость экватора планеты к её орбите.

*Решение.*

*В случае, когда «в самый длинный день года их солнце освещает дно самого глубокого колодца» речь идёт про то, что в день летнего солнцестояния полуденная высота светила равна  $90^\circ$  (2 балла).*

*В случае, когда в зимнее солнцестояние на 24 часа наступает полярная ночь, можно считать, что полуденная высота светила около  $0^\circ$  (2 балла). Учтя, что изменение высоты светила составляет  $\Delta h = 2\varepsilon$  (это следует из формулы верхней кульминации  $h = 90 - \varphi + \delta$ , в первом случае  $\delta = \varepsilon$ , во втором  $\delta = -\varepsilon$ ), моментально получим  $\Delta h = 90^\circ$  и  $\varepsilon = 45^\circ$  (4 балла).*

*Примечание. Внимательные участники могут увидеть в задаче отсыл к истории про определение радиуса земли Эратосфеном.*

### Задача 4.

Восход или заход Луны над Казанским Кремлём изображён на фото (рис 2), полученном в режиме мультиэкспозиции (когда на один кадр делается несколько снимков)?



Рисунок 2. Луна над Казанским Кремлём.

## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

*Решение.*

Поскольку Казань расположена в Северном полушарии (2 балла), то суточное движение светил по небесной сфере вблизи горизонта происходит «слева-направо» (4 балла). Поэтому на фото – восход Луны (2 балла вывод).

*Примечание:* без указания полушария и аргументации оценка не может быть полной даже при верном ответе. Например, просто при утверждении «это восход» за задачу не может быть выставлено более 2 баллов, при «движение слева направо, поэтому это восход» задача не может быть оценена более, чем в 6 баллов.

### Задача 5.

В Солнечной системе запущен спутник. Плоскость орбиты спутника совпадает с эклиптической, эксцентриситет орбиты  $e=(9/22)$ , большая полуось  $a=2$  а.е. Вычислите, во сколько раз меняется расстояние от Земли до спутника в противостоянии, и укажите на рисунке, почему это происходит.

*Решение.*

Прежде всего, требуется указать, что изменение расстояния «Спутник-Земля» в противостоянии меняется из-за разного расстояния от спутника до Солнца (аналог с великими противостояниями Марса) (1 балл), а удаление спутника от Земли равно его расстоянию до Солнца, уменьшенному на 1 а.е.

**(этот вывод + верный рисунок с конфигурацией оценивается в 2 балла)**

В указанном случае перигелийное расстояние спутника  $q=a(1-e)$  (1 балл),

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_1=q-1$  (1 балл),

афелийное расстояние спутника  $Q=a(1+e)$  (1 балл),

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_2=Q-1$  (1 балл).

Подставив численные значения, получим, что  $r_2/r_1=10$  (1 балл ответ)

### Задача 6.

Шаровое звёздное скопление состоит из  $10^4$  одинаковых звёзд, каждая из которых имеет видимый блеск  $13^m$ . Видно ли оно невооружённым глазом с Земли и в каком полушарии небесной сферы такие скопления есть в реальности?

*Решение.*

Поскольку  $10^4$  одинаковых звёзд дают выигрыш по яркости в  $100*100$  раз, каждые 100 раз – это  $5^m$ , то суммарный выигрыш составит  $10^m$  (2 балла).  $13-10=3^m$  – такова видимая яркость всего скопления (2 балла). Но видно невооружённым глазом (2 балла). На небе Земли нет шаровых скоплений такой яркости, ни в одном из полушарий (2 балла).

*Примечание:* Такой блеск сравним с яркостью звёзд созвездия Кассиопея или, если говорить о диффузных объектах, с яркостью Туманности Андромеды, видимой невооружённым глазом.

### Справочные данные:

1а.е.= $1.496 \cdot 10^8$  км; 1пк=206265 а.е.

Масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, масса Земли  $6 \cdot 10^{24}$  кг, масса Марса  $6 \cdot 10^{23}$  кг, масса Луны  $7 \cdot 10^{22}$  кг.



# ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

## Всероссийская олимпиада школьников

### по АСТРОНОМИИ

#### Муниципальный этап

9 класс

Время выполнения работы – 120 мин.

Максимальное количество баллов – 48.

#### ***КРАТКИЕ РЕШЕНИЯ***

### Задача 1.

Находясь в средних широтах и наблюдая в сентябре Меркурий низко над горизонтом, незадолго до захода планеты, ученик заметил, что в это же время в другой стороне горизонта взошла Луна. В какой примерно фазе находилась Луна?

#### *Решение.*

*У Меркурия присутствует или утренняя, или вечерняя видимость (2 балла), при этом он не отдаляется от Солнца далее, чем на  $28^\circ$  и наблюдается через несколько десятков минут после захода (или до восхода) Солнца. Поскольку Меркурий был «низко над горизонтом незадолго до захода планеты», это однозначно вечерняя видимость, вскоре после захода Солнца (2 балла), не более чем через час после него. Восходящая в это время Луна должна быть почти полная (2 балла), через 1-2 дня после полнолуния (2 балла). Условие про средние широты «страхует» от маловероятного, но возможного варианта, когда Меркурий, обладая заметно большим склонением, чем Солнце, является в высоких широтах незаходящим (или почти незаходящим) светилом и виден длительное время после захода Солнца или перед его восходом.*

*Примечание. Ответ «полнолуние» с указанием всей приведённой выше аргументации не может быть оценен выше, чем в 6 баллов.*

**Задача 2.**

Рисунок 1. Снимок  
астного лунного затмения  
28 октября 2023 года

В описании лунного затмения, произошедшего 28 октября 2023 года, на одном из интернет-сайтов было сказано: «...28 октября произойдет частное лунное затмение. Наблюдать его можно будет примерно в 22 часа, в Северном полушарии оно будет достаточно хорошо видно. Его длительность практически полтора часа. Луна в это время приобретет красноватый оттенок, так как ее частично закроет земная полутень».



На рисунке 1 приведен снимок максимальной фазы этого затмения. Исходя из него и того, что вы знаете про это явление, прокомментируйте, нет ли в описании неточностей.

*Решение.*

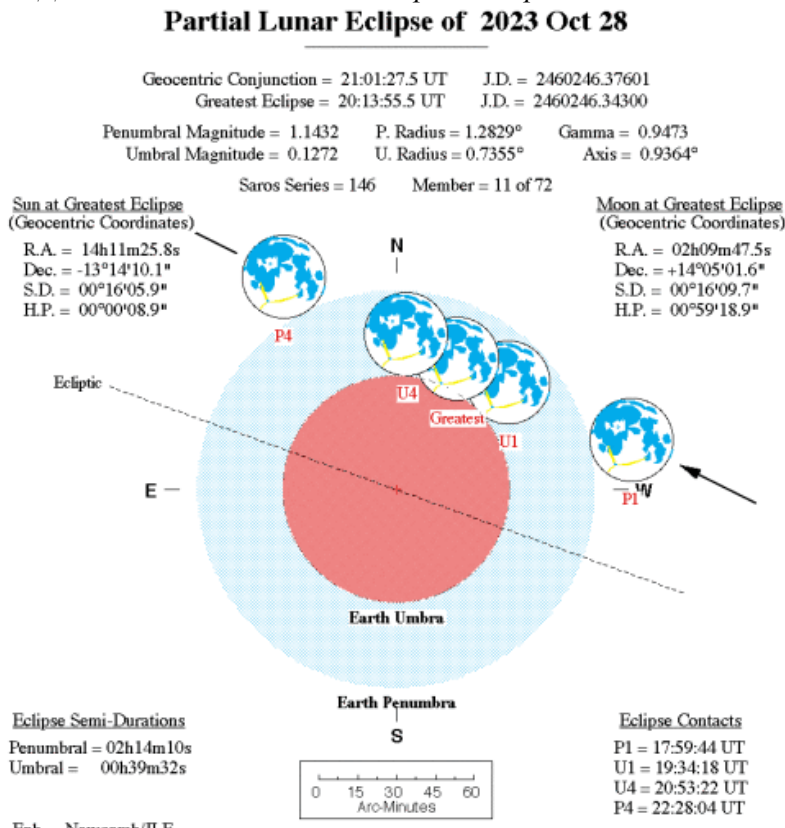
*В описании есть несколько неточностей.*

1. Луна во время частных фаз затмения, тем более, как видно из фотографии, весьма малых (28 октября она составляла около 0.13), практически не меняет цвет и остаётся бело-жёлтой, потемневшая часть – тёмно-серая, почти чёрная (2 балла). При этом можно отметить, что наблюдая затмение фотографически, красноватый оттенок затмившейся части Луны всё же может быть обнаружен.

2. Красноватый оттенок во время затмения Луна приобретает не из-за того, что её закрывает тень или полутень Земли, а из-за того, что Луну освещают только преломлённые земной атмосферой и прошедшие через неё (и оттого красные) солнечные лучи (3 балла).

3. Во время частных теневых фаз затмения Луна уже полностью погрузилась в земную полутень, а частично – в тень нашей планеты (3 балла).

Для понимания геометрии прошедшего затмения приводим его схему.



## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

### Задача 3.

Наблюдая Солнце на одной из землеподобных планет, освоенных в будущем, ученик заметил, что в самый длинный день года Солнце (т.е. материнская звезда) освещает дно самого глубокого колодца, а в дату зимнего солнцестояния на 24 часа наступает полярная ночь. Определите, на какой угол наклонена плоскость экватора планеты к её орбите.

*Решение.*

*В случае, когда «в самый длинный день года их солнце освещает дно самого глубокого колодца» речь идёт про то, что в день летнего солнцестояния полуденная высота светила равна  $90^\circ$  (2 балла).*

*В случае, когда в зимнее солнцестояние на 24 часа наступает полярная ночь, можно считать, что полуденная высота светила около  $0^\circ$  (2 балла). Учтя, что изменение высоты светила составляет  $\Delta h = 2\varepsilon$  (это следует из формулы верхней кульминации  $h = 90 - \varphi + \delta$ , в первом случае  $\delta = \varepsilon$ , во втором  $\delta = -\varepsilon$ ), моментально получим  $\Delta h = 90^\circ$  и  $\varepsilon = 45^\circ$  (4 балла).*

*Примечание. Внимательные участники могут увидеть в задаче отсыл к истории про определение радиуса земли Эратосфеном.*

### Задача 4.

Принимая орбиту Земли круговой, рассчитайте, удержит ли нашу планету Солнце, если его масса внезапно уменьшится в 2 раза.

*Решение.*

*При движении по круговой орбите скорость тела равна второй космической  $V = \sqrt{GM/a}$  (2 балла).*

*При этом массой Земли можно пренебречь, поэтому уменьшение массы Солнца в 2 раза приведёт к уменьшению полной массы системы в 2 раза и первая космическая станет равна*

$$V_1 = \sqrt{GM/2a} \text{ (2 балла).}$$

*Для этой системы значение круговой скорости Земли «до изменения массы» будет  $V = \sqrt{2} * V_1 = V_2$ , т.е. второй космической, или параболической скоростью. Поэтому удержать Землю на замкнутой орбите Солнце не сможет. (4 балла за итоговые верные рассуждения и аргументированный верный ответ).*

### Задача 5.

В Солнечной системе запущен спутник. Плоскость орбиты спутника совпадает с эклиптической, эксцентриситет орбиты  $e = (9/22)$ , большая полуось  $a = 2$  а.е. Вычислите, во сколько раз меняется расстояние от Земли до спутника в противостояние и укажите на рисунке, почему это происходит.

*Решение.*

*Прежде всего, требуется указать, что изменение расстояния «Спутник-Земля» в противостояние меняется из-за разного расстояния от спутника до Солнца (аналог с великими противостояниями Марса) (1 балл), а удаление спутника от Земли равно его расстоянию до Солнца, уменьшенному на 1 а.е.*

*(этот вывод + верный рисунок с конфигурацией оценивается в 2 балла)*

## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

В указанном случае перигелийное расстояние спутника  $q=a(1-e)$  (1 балл),  
расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_1=q-1$  (1 балл),  
афелийное расстояние спутника  $Q=a(1+e)$  (1 балл),  
расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_2=Q-1$  (1 балл).  
Подставив численные значения, получим, что  $r_2/r_1=10$  (1 балл ответ)

### Задача 6.

Сверхгигант Бетельгейзе (ярчайшая звезда созвездия Орион) наблюдается практически в направлении на антицентр нашей Галактики и имеет видимый блеск  $+1^m$ . Когда Бетельгейзе взорвётся как сверхновая, её абсолютный блеск станет равным  $-19^m$ . Будет ли она (в момент вспышки) видна невооружённым глазом космонавтам будущего, оказавшимся в галактике Туманность Андромеды (М31)?

*Решение.*

Поскольку М31 дальше чем стандартное для определения абсолютной звёздной величины расстояние (10пк) в  $800000/10=80000$  раз, то звезда с такого расстояния будет наблюдаться в  $(80000)^2=64*10^8$  раз слабее. Это примерно  $4.5+5+5+5+5=24.5$  на величины слабее её абсолютного блеска, или  $-19+24.5=5.5^m$ . Это чуть ярче, чем предельная для невооружённого глаза предельная величина, так что увидеть вспышку Бетельгейзе можно даже из соседней галактики!

Поскольку 9класс ещё не знаком с решением логарифмических уравнений, то прийти к такому выводу можно или решая (например, подбором) соотношение Погсона, или примерно определив разность блеска (как в решении выше), или же, исходя из обратного. Для выполнения условия видимости «на пределе» звезда должна стать ярче в  $10^{10}$  раз, т.е. удалиться в  $10^5$  раз относительно расстояния в 10пк. Поскольку М31 ближе, то вспышка будет видна невооружённым глазом.

**Оценка задачи в 8 баллов даётся за любое верное аргументированное решение.**

### Справочные данные:

1а.е.= $1.496 \cdot 10^8$  км; 1пк= $206265$  а.е.

Масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, масса Земли  $6 \cdot 10^{24}$  кг, масса Марса  $6 \cdot 10^{23}$  кг, масса Луны  $7 \cdot 10^{22}$  кг.

Расстояние до Бетельгейзе 170 пк, расстояние до галактики М31 800 кпк.

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

**Всероссийская олимпиада школьников**

**по АСТРОНОМИИ**

**Муниципальный этап**

**10 класс**

**Время выполнения работы – 120 мин.**

Максимальное количество баллов – 48.

***КРАТКИЕ РЕШЕНИЯ***

**Задача 1.**

Находясь в средних широтах и наблюдая в сентябре Меркурий низко над горизонтом, незадолго до захода планеты, ученик заметил, что в это же время в другой стороне горизонта взошла Луна. В какой примерно фазе находилась Луна?

*Решение.*

*У Меркурия присутствует или утренняя, или вечерняя видимость (2 балла), при этом он не отдаляется от Солнца далее, чем на  $28^\circ$  и наблюдается через несколько десятков минут после захода (или до восхода) Солнца. Поскольку Меркурий был «низко над горизонтом незадолго до захода планеты», это однозначно вечерняя видимость, вскоре после захода Солнца (2 балла), не более чем через час после него. Восходящая в это время Луна должна быть почти полная (2 балла), через 1-2 дня после полнолуния (2 балла). Условие про средние широты «страхует» от маловероятного, но возможного варианта, когда Меркурий, обладая заметно бОльшим склонением, чем Солнце, является в высоких широтах незаходящим (или почти незаходящим) светилом и виден длительное время после захода Солнца или перед его восходом.*

*Примечание. Ответ «полнолуние» с указанием всей приведённой выше аргументации не может быть оценен выше, чем в 6 баллов.*

**Задача 2.**

Рисунок 1. Снимок  
частного лунного затмения  
28 октября 2023 года

В описании лунного затмения, произошедшего 28 октября 2023 года, на одном из интернет-сайтов было сказано: «...28 октября произойдет частное лунное затмение. Наблюдать его можно будет примерно в 22 часа, в Северном полушарии оно будет достаточно хорошо видно. Его длительность практически полтора часа. Луна в это время приобретет красноватый оттенок, так как ее частично закроет земная полутень».



На рисунке 1 приведен снимок максимальной фазы этого затмения. Исходя из него и того, что вы знаете про это явление, прокомментируйте, нет ли в описании неточностей.

*Решение.*

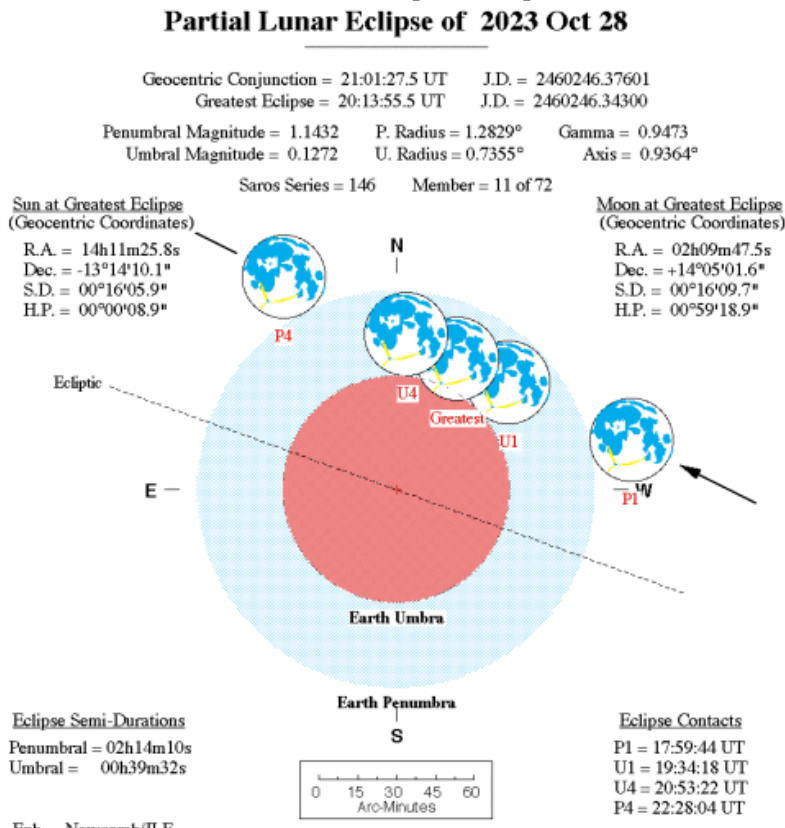
*В описании есть несколько неточностей.*

1. Луна во время частных фаз затмения, тем более, как видно из фотографии, весьма малых (28 октября она составляла около 0.13), практически не меняет цвет и остаётся бело-жёлтой, потемневшая часть – тёмно-серая, почти чёрная (**2 балла**). При этом можно отметить, что наблюдая затмение фотографически, красноватый оттенок затмившейся части Луны всё же может быть обнаружен.

2. Красноватый оттенок во время затмения Луна приобретает не из-за того, что её закрывает тень или полутень Земли, а из-за того, что Луну освещают только преломлённые земной атмосферой и прошедшие через неё (и оттого красные) солнечные лучи (**3 балла**).

3. Во время частных теневых фаз затмения Луна уже полностью погрузилась в земную полутень, а частично – в тень нашей планеты (**3 балла**).

Для понимания геометрии прошедшего затмения приводим его схему.



## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

### Задача 3.

Наблюдая Солнце на одной из землеподобных планет, освоенных в будущем, ученик заметил, что в самый длинный день года Солнце (т.е. материнская звезда) освещает дно самого глубокого колодца, а в дату зимнего солнцестояния на 24 часа наступает полярная ночь. Определите, на какой угол наклонена плоскость экватора планеты к её орбите.

*Решение.*

*В случае, когда «в самый длинный день года их солнце освещает дно самого глубокого колодца» речь идёт про то, что в день летнего солнцестояния полуденная высота светила равна  $90^\circ$  (2 балла).*

*В случае, когда в зимнее солнцестояние на 24 часа наступает полярная ночь, можно считать, что полуденная высота светила около  $0^\circ$  (2 балла). Учтя, что изменение высоты светила составляет  $\Delta h = 2\varepsilon$  (это следует из формулы верхней кульминации  $h = 90 - \varphi + \delta$ , в первом случае  $\delta = \varepsilon$ , во втором  $\delta = -\varepsilon$ ), моментально получим  $\Delta h = 90^\circ$  и  $\varepsilon = 45^\circ$  (4 балла).*

*Примечание. Внимательные участники могут увидеть в задаче отсыл к истории про определение радиуса Земли Эратосфеном.*

### Задача 4.

Принимая орбиту Земли круговой, рассчитайте, удержит ли нашу планету Солнце, если его масса внезапно уменьшится в 2 раза.

*Решение.*

*При движении по круговой орбите скорость тела равна второй космической  $V = \sqrt{GM/a}$  (2 балла).*

*При этом массой Земли можно пренебречь, поэтому уменьшение массы Солнца в 2 раза приведёт к уменьшению полной массы системы в 2 раза и первая космическая станет равна*

$$V_1 = \sqrt{GM/2a} \text{ (2 балла).}$$

*Для этой системы значение круговой скорости Земли «до изменения массы» будет  $V = \sqrt{2} * V_1 = V_2$ , т.е. второй космической, или параболической скоростью. Поэтому удержать Землю на замкнутой орбите Солнце не сможет. (4 балла за итоговые верные рассуждения и аргументированный верный ответ).*

## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

### Задача 5.

В Солнечной системе запущен спутник с небольшим стабильным источником излучения (лампочкой), видимым издали. Плоскость орбиты спутника совпадает с эклиптической, её эксцентриситет  $e=(9/22)$ , большая полуось  $a=2$  а.е. Вычислите, на сколько звёздных величин может меняться видимый блеск этого источника света при наблюдении с Земли в противостояние (т.е. разницу между максимальным и минимальным блеском лампочки в противостоянии). Ответ сопроводите рисунком.

#### Решение.

Прежде всего, требуется указать, что изменение яркости лампочки происходит из-за изменения расстояния до неё (по условию источник света стабилен), а изменение расстояния «Спутник-Земля» в противостоянии меняется из-за разного расстояния от спутника до Солнца (аналог с великими противостояниями Марса) (1 балл). При этом удаление спутника от Земли равно его расстоянию до Солнца, уменьшенному на 1 а.е. (этот вывод + верный рисунок с конфигурацией оценивается в 2 балла)

В указанном случае перигелийное расстояние спутника  $q=a(1-e)$ ,

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_1=q-1$  (1 балл),

афелийное расстояние спутника  $Q=a(1+e)$ ,

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_2=Q-1$  (1 балл).

Подставив численные значения, получим, что  $r_2/r_1=10$  (1 балл).

Изменение расстояния в 10 раз даст изменение видимой яркости в 100 раз, или на  $5^m$  (2 балла).

### Задача 6.

Сверхгигант Бетельгейзе (ярчайшая звезда созвездия Орион) наблюдается практически в направлении на антицентр нашей Галактики и имеет видимый блеск  $+1^m$ . Когда Бетельгейзе взорвётся как сверхновая, её абсолютный блеск станет равным  $-19^m$ . Будет ли она (в момент вспышки) видна невооружённым глазом космонавтам будущего, оказавшимся в галактике Туманность Андромеды (M31)?

#### Решение.

Поскольку видимая и абсолютная зв. величины связаны соотношением  $M=m+5-5\lg r$ . С расстояния в 800 пк видимая яркость Бетельгейзе составит  $m=-19-5+5*\lg(800)=5.5^m$ .

Можно рассуждать иначе.

M31 дальше чем стандартное для определения абсолютной звёздной величины расстояние (10пк) в  $800000/10=80000$  раз, то звезда с такого расстояния будет наблюдаться в  $(80000)^2=64*10^8$  раз слабее. Это примерно  $4.5+5+5+5+5=24.5$  на величины слабее её абсолютного блеска, или  $-19+24.5=5.5^m$ . Это чуть ярче, чем предельная для невооружённого глаза предельная величина, так что увидит вспышку Бетельгейзе можно даже из соседней галактики!

Если ученик ещё не знаком с решением логарифмических уравнений, то прийти к такому выводу можно или решая (например, подбором) соотношение Погсона, или примерно определив разность блеска (как в решении выше), или же, исходя из обратного. Для



## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

выполнения условия видимости «на пределе» звезда должна стать ярче в  $10^{10}$  раз, т.е. удалиться в  $10^5$  раз относительно расстояния в 10пк. Поскольку М31 ближе, то вспышка будет видна невооружённым глазом.

**Оценка задачи в 8 баллов даётся за любое верное аргументированное решение.**

### Справочные данные:

1а.е.= $1.496 \cdot 10^8$  км; 1пк=206265 а.е.

Масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, масса Земли  $6 \cdot 10^{24}$  кг, масса Марса  $6 \cdot 10^{23}$  кг, масса Луны  $7 \cdot 10^{22}$  кг.

Расстояние до Бетельгейзе 170 пк, расстояние до галактики М31 800кпк.

# ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий *Муниципальный этап, 2023*

## Всероссийская олимпиада школьников

### по АСТРОНОМИИ

#### Муниципальный этап

#### 11 класс

**Время выполнения работы – 180 мин.**

Максимальное количество баллов – 48.

#### ***КРАТКИЕ РЕШЕНИЯ***

#### **Задача 1.**

Две землеподобные экзопланеты имеют совершенно идентичные с земными физические параметры. Солнечные сутки на них равны, как и на Земле, 24 часам, а звёздный год составляет 365.256 средних солнечных суток. Массы планет так же равны между собой и равны массе Земли. Обе планеты обращаются вокруг материнской звезды против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса их эклиптики. Но одна из планет вращается вокруг своей оси в том же направлении, что и вокруг материнской звезды, а другая – в противоположном.

Обитатели каждой из таких планет запустили планетостационарный спутник (по аналогии с земным геостационарным). Будут ли отличаться орбиты этих спутников с точки зрения параметров и геометрии (направления) обращения спутника вокруг планеты?

#### *Решение.*

*Поскольку у двух планет в задаче направление осевого вращения относительно орбитального отличается, то, в первом случае (совпадение направлений вращения) в году будет 366.256 звёздных суток (как и на Земле – на одни больше, чем солнечных), а во втором (противоположные направления вращения) – на одни меньше, т.е. 364.256 (2 балла). При этом продолжительность звёздного (сидерического) года одинакова, поэтому в первом случае звёздные сутки будут примерно на 2/365 короче, чем во втором (2 балла). Поэтому в первом случае период планетостационарного спутника будет на 0.13 часа меньше, чем во втором, соответственно, и орбита – чуть ниже (2 балла). Очевидно так же, что направление обращения спутника будет отличаться, поскольку в обоих случаях спутник должен быть запущен в ту же сторону, что вращается планета (2 балла).*

*Примечание. В случае указания, что отличаться будут только направления обращения спутника, задача не может быть оценена выше, чем на 2 балла.*

**Задача 2.**

Рисунок 1. Снимок  
частного лунного затмения  
28 октября 2023 года

В описании лунного затмения, произошедшего 28 октября 2023 года, на одном из интернет-сайтов было сказано: «...28 октября произойдет частное лунное затмение. Наблюдать его можно будет примерно в 22 часа, в Северном полушарии оно будет достаточно хорошо видно. Его длительность практически полтора часа. Луна в это время приобретет красноватый оттенок, так как ее частично закроет земная полутень».



На рисунке 1 приведен снимок максимальной фазы этого затмения. Исходя из него и того, что вы знаете про это явление, прокомментируйте, нет ли в описании неточностей.

*Решение.*

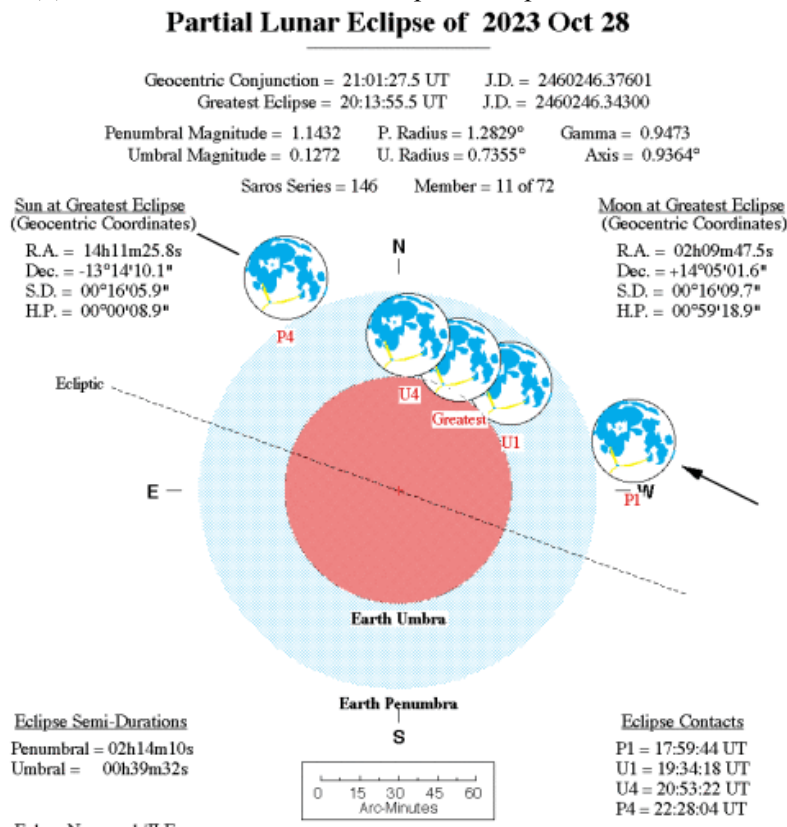
*В описании есть несколько неточностей.*

1. Луна во время частных фаз затмения, тем более, как видно из фотографии, весьма малых (28 октября она составляла около 0.13), практически не меняет цвет и остаётся бело-жёлтой, потемневшая часть – тёмно-серая, почти чёрная (**2 балла**). При этом можно отметить, что наблюдая затмение фотографически, красноватый оттенок затмившейся части Луны всё же может быть обнаружен.

2. Красноватый оттенок во время затмения Луна приобретает не из-за того, что её закрывает тень или полутень Земли, а из-за того, что Луну освещают только преломлённые земной атмосферой и прошедшие через неё (и оттого красные) солнечные лучи (**3 балла**).

3. Во время частных теневых фаз затмения Луна уже полностью погрузилась в земную полутень, а частично – в тень нашей планеты (**3 балла**).

Для понимания геометрии прошедшего затмения приводим его схему.



## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

### Задача 3.

Наблюдая Солнце на одной из землеподобных планет, освоенных в будущем, ученик заметил, что в самый длинный день года Солнце (т.е. материнская звезда) освещает дно самого глубокого колодца, а в дату зимнего солнцестояния на 24 часа наступает полярная ночь. Определите, на какой угол наклонена плоскость экватора планеты к её орбите.

*Решение.*

*В случае, когда «в самый длинный день года их солнце освещает дно самого глубокого колодца» речь идёт про то, что в день летнего солнцестояния полуденная высота светила равна  $90^\circ$  (2 балла).*

*В случае, когда в зимнее солнцестояние на 24 часа наступает полярная ночь, можно считать, что полуденная высота светила около  $0^\circ$  (2 балла). Учтя, что изменение высоты светила составляет  $\Delta h = 2\varepsilon$  (это следует из формулы верхней кульминации  $h = 90 - \varphi + \delta$ , в первом случае  $\delta = \varepsilon$ , во втором  $\delta = -\varepsilon$ ), моментально получим  $\Delta h = 90^\circ$  и  $\varepsilon = 45^\circ$  (4 балла).*

*Примечание. Внимательные участники могут увидеть в задаче отсыл к истории про определение радиуса Земли Эратосфеном.*

### Задача 4.

Рассчитайте, удержит ли нашу планету Солнце, если его масса внезапно уменьшится в 2 раза.

*Решение.*

*Поскольку орбита Земли - эллипс, расстояние до центра масс и скорость планеты будут изменяться. Следует рассмотреть два крайних случая – Земля в перигелии и в афелии.*

*Перигелийное расстояние  $q = a(1-e)$ ,  $q = 1.496 \cdot 10^8 \cdot 0.983 = 1.471 \cdot 10^8$  км, афелийное  $Q = a(1+e)$ ,  $Q = 1.496 \cdot 10^8 \cdot 1.017 = 1.521 \cdot 10^8$  км. (2 балла)*

*Первая космическая скорость планеты  $V_1 = \sqrt{GM/a}$ , по данным задачи получим  $V_1 = 29.86$  км/с (1 балл)*

*При этом фактическая скорость в перигелии  $V_n = V_1 \cdot \sqrt{(1+e)/(1-e)}$ , в афелии  $V_a = V_1 \cdot \sqrt{(1-e)/(1+e)}$ . Численно это составит  $V_n = 30.37$  км/с и  $V_a = 29.36$  км/с (1 балл)*

*Первая космическая скорость для перигелийного и афелийного расстояний  $V_{1n} = 30.11$  км/с и  $V_{1a} = 29.62$  км/с. Они же будут скоростями убегания после уменьшения массы Солнца вдвое (подробнее этот пункт - см. решение для 9 класса) (1 балл) Теперь сравним скорости. В перигелии фактическая скорость 30.37 км/с, а после уменьшения массы параболическая составит 30.11 км/с, т.е. Земля удалится на бесконечность.*

*В афелии фактическая скорость 29.36 км/с, а после уменьшения массы параболическая 29.62 км/с, т.е. Земля останется на очень вытянутой, но всё же эллиптической орбите.*

*Таким образом, ответ будет зависеть от того, в какой точке орбиты Земли произойдёт катаклизм. Если вблизи перигелия – Земля уйдёт на бесконечность, если вблизи афелия – останется на замкнутой (3 балла сравнение скоростей и вывод).*

*Примечание. При рассмотрении случая круговой орбиты (по аналогии с задачами для 7-10 класса) и получении (так же по аналогии с 9-10 кл) ответа, что скорость в этом случае станет второй космической и планета улетит на бесконечность, задача не может быть оценена выше, чем в 2 балла.*

## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

### Задача 5.

В Солнечной системе запущен спутник с небольшим стабильным источником излучения (лампочкой), видимым издали. Плоскость орбиты спутника совпадает с эклиптической, её эксцентриситет  $e=(9/22)$ , большая полуось  $a=2$  а.е. Вычислите, на сколько звёздных величин может меняться видимый блеск этого источника света при наблюдении с Земли в противостояние (т.е. разницу между максимальным и минимальным блеском лампочки в противостоянии). Ответ сопроводите рисунком.

*Решение.*

Прежде всего, требуется указать, что изменение яркости лампочки происходит из-за изменения расстояния до неё (по условию источник света стабилен), а изменение расстояния «Спутник-Земля» в противостояние меняется из-за разного расстояния от спутника до Солнца (аналог с великими противостояниями Марса) (1 балл). При этом удаление спутника от Земли равно его расстоянию до Солнца, уменьшенному на 1 а.е. (этот вывод + верный рисунок с конфигурацией оценивается в 2 балла)

В указанном случае перигелийное расстояние спутника  $q=a(1-e)$ ,

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_1=q-1$  (1 балл),

афелийное расстояние спутника  $Q=a(1+e)$ ,

расстояние от него до Земли в противостоянии, выраженное в а.е.  $r_2=Q-1$  (1 балл).

Подставив численные значения, получим, что  $r_2/r_1=10$  (1 балл).

Изменение расстояния в 10 раз даст изменение видимой яркости в 100 раз, или на  $5^m$  (2 балла).

### Задача 6.

Сверхгигант Бетельгейзе (ярчайшая звезда созвездия Орион) наблюдается практически в направлении на антицентр нашей Галактики и имеет видимый блеск  $+1^m$ . Когда Бетельгейзе взорвётся как сверхновая, её абсолютный блеск станет равным  $-19^m$ . Будет ли она (в момент вспышки) видна невооружённым глазом космонавтам будущего, оказавшимся в окрестности центра Галактики?

*Решение.*

Для космонавтов в центре Млечного Пути Бетельгейзе будет находиться в плоскости галактического экватора, практически в направлении на антицентр. Поглощение света газопылевыми облаками в этом направлении составляет в оптическом диапазоне 30-40<sup>m</sup> на 8 кпк, поэтому даже вспышку сверхновой увидеть не удастся. Вот такой парадоксальный ответ, если сравнить с решением для 9-10 класса. Из окрестности Туманности Андромеды сверхновую будет видно, а из центра нашей галактики – нет.

**8 баллов** даётся за любые верные рассуждения про поглощение в плоскости Млечного пути и вывод. Если решение идёт по алгоритму, описанному в решении для 9-10 кл (и получается, естественно, что сверхновая будет видна), задача не может быть оценена выше, чем в 2 балла.

При этом от школьника не требуется знать точную величину межзвёздного поглощения в

## ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Бланк заданий Муниципальный этап, 2023

*направлении на центр Галактики. Достаточно осознания общеизвестных фактов, что в оптическом диапазоне центр Галактики скрыт и не наблюдаем из-за наличия газопылевых облаков, что фото окрестностей СМЧД в центре МП было сделано в радиодиапазоне (поскольку в оптическом мы эту область не видим) и т.п.*

### **Справочные данные:**

1 а.е.= $1.496 \cdot 10^8$  км; 1 пк=206265 а.е.

Масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, масса Земли  $6 \cdot 10^{24}$  кг, масса Марса  $6 \cdot 10^{23}$  кг, масса Луны  $7 \cdot 10^{22}$  кг.

Расстояние до Бетельгейзе 170 пк, до галактики М31 800 кпк.

Гравитационная постоянная  $G=6.67 \cdot 10^{-11}$  Н\*м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.