

# МОСКОВСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА 2016–2017 уч. г.

## ОЧНЫЙ ЭТАП

### 6–7 классы

#### Критерии оценивания

#### Задание 1

##### Условие

В феврале 1600 года было пять вторников. С какого дня недели начался XVII век? Обязательно обоснуйте свой ответ.

##### Решение

Обычно в феврале четыре недели и каждый день недели встречается четыре раза. Пять вторников в феврале 1600 года было потому, что год был високосный, и феврале было 29 дней. Лишним днём мог быть только вторник. Значит, и первым, и последним днём февраля был вторник. В январе 31 день. Это 4 недели и ещё три дня. Поэтому 1 января 1600 года было субботой. Однако XVII век начался не 1 января 1600 года, а 1 января 1601 года. В високосном году 52 недели и два дня. Следовательно, 1 января 1601 года было понедельником.

##### Рекомендации для жюри

Вывод о том, что пять вторников в феврале может быть только в високосном году, оценивается в **2 балла**. Указание на то, что новый век начался 1 января 1601 года, оценивается в **2 балла**. Определение дня недели, на который пришлось 1 января 1601 года, оценивается в **4 балла**. Если в качестве ответа приводится 1 января 1600 года, то за вычисление ставится только **1 балл** (а полная оценка не может превышать **3 балла**). Если ответ дан без обоснования – **0 баллов**.

Максимальная оценка за задачу – **8 баллов**.

*(Н.Е. Шатовская)*

#### Задание 2

##### Условие

Астрономы открыли нейтронную звезду с планетной системой, летящую почти точно к Солнцу на расстоянии 5 световых лет. Ближе всего к Солнцу та звезда окажется через 2500 лет. К нейтронной звезде отправили исследовательский космический корабль. Через сколько лет после старта он вернётся на Землю, если проведёт 20 лет на орбите вокруг нейтронной звезды? Сколько времени затратит космический корабль на полёт к нейтронной звезде и сколько на обратную дорогу? Скорость корабля в обоих направлениях равна 0,01 скорости света. Скорость света равна 300 000 км/с.

## Решение

Определим скорость, с которой нейтронная звезда приближается к нам. Расстояние, которое она должна преодолеть за 2500 лет, свет проходит за 5 лет, т. е. в 500 раз быстрее. Значит, скорость звезды равна 0,002 скорости света, или 600 км/с.

Звезда движется навстречу космическому кораблю. Поэтому ему потребуется преодолеть меньшее расстояние, чем  $L = 5$  световых лет. Пусть  $v_1$  – скорость космического корабля, а  $v_2$  – скорость звезды. Тогда за время  $T_1$ , необходимое для их встречи, они преодолеют расстояние

$$v_1 T_1 + v_2 T_1 = L.$$

Отсюда получаем время, необходимое для путешествия «туда»:

$$T_1 = \frac{L}{v_1 + v_2} \approx 417 \text{ лет}.$$

За время  $\Delta t$ , проведённое на орбите вокруг нейтронной звезды, космический корабль приблизился к Солнцу вместе со звездой на расстояние  $v_2 \Delta t$ . Поэтому обратный путь будет немного короче, а время, которое будет на него затрачено, равно

$$T_2 = \frac{v_1 T_1 - v_2 \Delta t}{v_1} = T_1 - \frac{v_2}{v_1} \Delta t \approx 413 \text{ лет}.$$

Полная продолжительность миссии:

$$T = T_1 + T_2 + \Delta t \approx 849 \text{ лет}.$$

## Рекомендации для жюри

Первый шаг в решении задачи – определение скорости нейтронной звезды (**2 балла**). Вычисление времени путешествия к нейтронной звезде оценивается в **2 балла**, времени обратного путешествия – ещё **2 балла**. Наконец, определение полного времени миссии «стоит» последние **2 балла**. Во всех этапах (кроме первого) один балл выставляется за алгоритм вычисления, а второй за само вычисление. Вычислять скорость нейтронной звезды по условию не требуется, поэтому само значение может не вычисляться. Если же отдельные вычисления сделаны, то они оцениваются по указанной выше схеме. Скорость звезды и время  $T_1$  являются составляющими последующих формул. Если их значения получены с ошибкой, то правильность последующих вычислений следует оценивать с учётом этих ошибочных значений.

Максимальная оценка за задание – **8 баллов**.

(Е.Н. Фадеев)

### Задание 3

#### Условие

В некоторый момент времени Сатурн и Венера одновременно находятся в соединении с Солнцем. Через некоторое время планеты становятся доступны для наблюдений. В какое время суток можно будет наблюдать эти планеты? Прямым или попятным движением они перемещаются среди звёзд?

#### Решение

Проще всего ответить на вопрос про Сатурн. Он находится гораздо дальше от Солнца, чем Земля и очень медленно по сравнению с Солнцем передвигается по небу на фоне звёзд. Солнце обгоняет Сатурн в своём годичном движении с запада на восток, а значит, через некоторое время планета окажется западнее и будет видна на рассвете.

Для Венеры возможны два варианта. Находясь в соединении, она может быть как перед Солнцем (нижнее соединение), так и за Солнцем (верхнее соединение). Случай верхнего соединения очень похож на вариант с Сатурном, но Венера как внутренняя планета движется вокруг Солнца быстрее Земли. Значит, и по небу Венера будет перемещаться быстрее Солнца. Следовательно, через некоторое время Венера окажется восточнее Солнца и будет наблюдаться после заката.

Несмотря на различный итог, обе планеты будут двигаться среди звёзд прямым движением.

Венера, находящаяся в нижнем соединении, будет двигаться примерно параллельно Земле и за счёт большей орбитальной скорости обгонять её. Это приведёт к тому, что на фоне звёзд она будет двигаться попятно, навстречу Солнцу, а значит, через некоторое время будет наблюдаться по утрам.

#### Рекомендации для жюри

Указание на то, что для Венеры возможны два соединения, верхнее и нижнее, оценивается в **2 балла**. Оба варианта решения для Венеры оцениваются отдельно. Определение времени видимости планеты оценивается в **1 балл** (3 случая). Ещё один балл выставляется за указание типа движения планеты (3 случая).

Ответы без обоснования, даже правильные, оцениваются в **0 баллов**.

Максимальная оценка за задачу – **8 баллов**.

*(Е.Н. Фадеев)*

*Для выполнения заданий 4 и 5 используйте вкладку с цветными иллюстрациями.*

### Задание 4

#### Условие

Перед Вами фотография движения Луны, сделанная неподвижной камерой. Изображения были получены в течение одной ночи, изменение положения Луны вызвано вращением Земли вокруг своей оси. Средний угловой диаметр Луны составляет 31 угловую минуту.

1. Оцените время, прошедшее между верхними изображениями Луны (помечены цифрами 1 и 2).
2. Определите, восходит или заходит Луна на фотографии. Ответ обоснуйте. (Ответ без обоснования оценивается в 0 баллов.)



#### Решение

Измерим линейкой расстояние между центрами дисков Луны и сравним с диаметром Луны. Оно больше в 1,25 раза. Средний угловой диаметр Луны составляет 31', значит, расстояние между двумя Лунами равно 39'. Один оборот небесной сферы совершается за 24 часа. Значит, на 39' небесная сфера повернется за 2,6 минуты.

Можно учесть, что Луна довольно быстро движется среди звёзд и из-за этого один оборот относительно наблюдателя (лунные сутки) совершает за 24 ч 50 м. Тогда скорость движения Луны составляет скоростью 14,5° за час. Значит, расстояние в 39' она преодолеет за 2,7 минуты.

Прежде всего заметим, что фотография неперевернутая, то есть зенит находится сверху. Луна пересекает горизонт примерно под углом  $45^\circ$ , то есть наблюдения ведутся не в экваториальной области Земли. Ответ зависит от того, в каком полушарии ведутся наблюдения. В Северном полушарии из-за суточного движения Луна (как и Солнце) движется слева направо. В Южном, наоборот, справа налево. Соответственно, мы наблюдаем либо заход Луны в Северном полушарии, либо восход в Южном.

Можем ли мы определить полушарие? Да! На снимке видны очертания лунных морей, и видим, что Луна перевернута. То есть наблюдения ведутся из Южного полушария, а значит, мы наблюдаем восход.

### **Рекомендации для жюри**

Определение углового расстояния между Лунами, помеченными цифрами 1 и 2 оценивается в **2 балла**. Определение угловой скорости движения Луны по небесной сфере – ещё в **2 балла**. Вычисление времени – **1 балл**.

Указание на то, что Луна перевернута и наблюдение ведётся в Южном полушарии, оценивается в **1 балл**. Вывод о том, что сфотографирован восход Луны, – **2 балла**. Если дано два варианта ответа: заход в северном полушарии или восход в южном, то за эту часть задачи выставляется **1 балл**. Если ответ на второй вопрос дан без обоснования, то такой ответ оценивается в **0 баллов**.

Максимальная оценка за задачу – **8 баллов**.

*(Д.А. Чулков)*

### Задание 5

#### Условие

11 февраля 2017 года отмечено не только проведением 71-й Московской астрономической олимпиады, но и полутеневым лунным затмением.

<b>Схема затмения</b>	
	<p>Две тёмные концентрические окружности показывают тень и полутень Земли. Три малые окружности соответствуют положению Луны в начале, середине и конце затмения. Длинной горизонтальной линией обозначена линия эклиптики, стороны света отмечены короткими штрихами на краях полутени.</p> <p>Максимальная фаза полутеневого затмения: 0,9884. Максимальная фаза теневого затмения: –0,0354. (Фазой затмения называют долю диаметра Луны, закрытую затмевающим «объектом»: тенью или полутенью.)</p>
Событие	Всемирное время (UTC), часы:минуты (10/11 февраля)
Начало полутеневого затмения	22:34
Максимальное затмение	00:44
Конец полутеневого затмения	02:53

Во время полутеневого затмения Луна не попадает в тень Земли.

Луна пройдёт восходящий узел орбиты 11 февраля в 19:50 по UTC. (Восходящим узлом называют точку, в которой траектория движения Луны пересекает эклиптику с юга на север.)

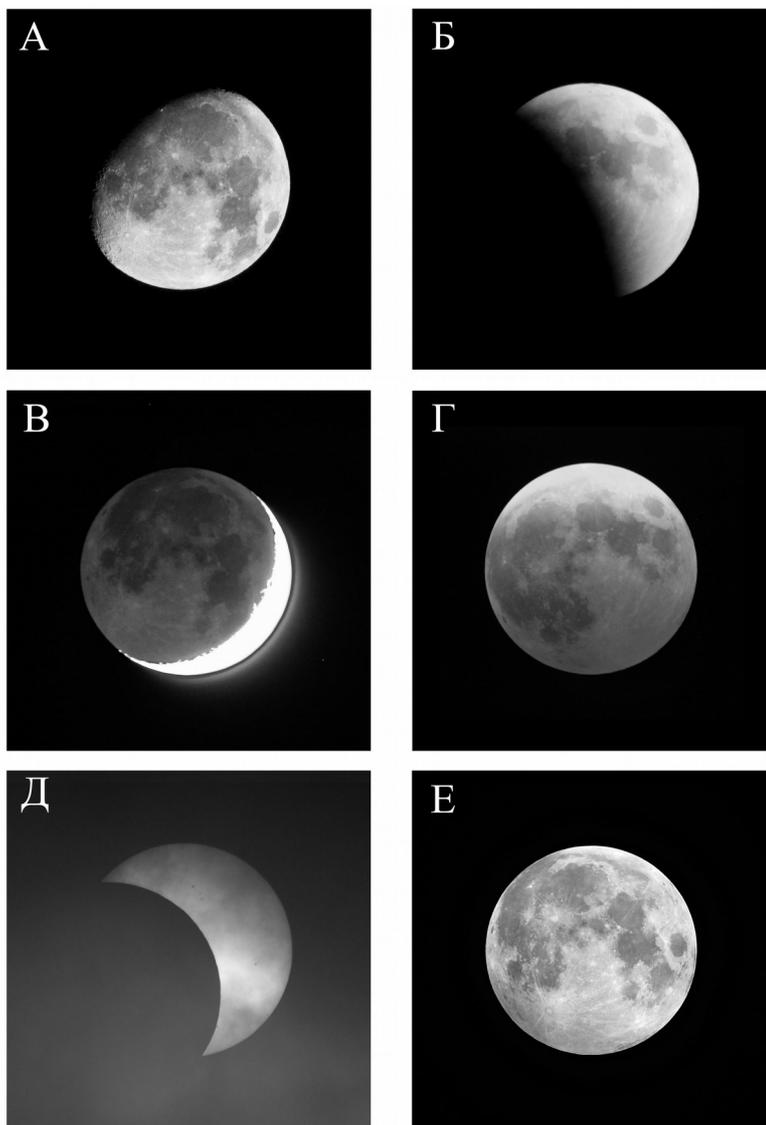
1. Вам представлено 6 фотографий, на одной (или нескольких) из которых изображена Луна в фазе полутеневого затмения (конечно, среди них нет фотографии **сегодняшнего** затмения). Укажите эту(и) фотографию(и) и объясните, почему Вы так решили. Также объясните, почему на остальных фотографиях Луна не находится в фазе полутеневого затмения.

2. С какой стороны (сверху/снизу/справа/слева) на схеме затмения находится направление на север?

3. В каких созвездиях находятся Земля и Солнце для наблюдателя, находящегося вблизи Северного полюса Луны (считайте, что небесные тела находятся выше линии местного лунного горизонта)?

4. Пользуясь данными из условия, определите, где на Земле можно было наблюдать данное затмение. Считайте, что метеорологические условия не препятствовали наблюдениям.

- а) Северный полюс ( $90^\circ$  с. ш.)
- б) Сан-Томе ( $0^\circ$  с. ш.,  $7^\circ$  в. д.)
- в) Науру ( $1^\circ$  ю. ш.,  $167^\circ$  в. д.)
- г) Южный полюс ( $90^\circ$  ю. ш.)



### Решение

1. Во время полутеневого затмения Луна оказывается в полутени Земли, но не заходит в саму тень. Полутень – это область пространства, где Земля загораживает часть солнечного излучения. То есть Луна остаётся освещённой Солнцем, просто её блеск становится немного слабее. Причём чем ближе некоторая часть Луны к тени, тем менее она яркая. Значит, подходящей будет та фотография, где изображена обычная полная Луна, т. е. изображение Е. Если

сравнить фотографии Е и А, то можно заметить, что левая нижняя часть Луны на фотографии Е выглядит более тусклой, чем противоположная её сторона.

На А и В показаны два варианта растущей Луны, когда затмения не может быть. На В хорошо заметен пепельный свет. На Б – частная фаза теневого лунного затмения. На Г – теневое лунное затмение, о чём свидетельствует красный цвет Луны (т. е. Луна освещена не прямым солнечным светом, а светом, прошедшим через атмосферу Земли). На Д – частная фаза солнечного затмения, видимого через облака.

2. Орбита Луны имеет небольшой наклон (около  $5^\circ$ ) к плоскости земной орбиты, поэтому траектория движения Луны не совпадает с траекторией движения Солнца, т. е. эклипстикой. Ось вращения Земли не перпендикулярна плоскости орбиты, поэтому линия эклиптики наклонена к небесному экватору. Угол наклона максимален вблизи точки равноденствия и составляет  $23^\circ$ . На схеме затмения мы видим, что обозначенная пунктиром линия эклиптики наклонена к коротким штрихам, обозначающим стороны света. Угол с экватором не превышает  $23^\circ$ , поэтому направление восток-запад на схеме отложено по вертикали, а север-юг – по горизонтали.

Известно, что Луна (как и Солнце) относительно звёзд всегда движется навстречу суточному движению, то есть с запада на восток. Лунное затмение происходит всегда в полнолуние, когда Луна находится в противоположном от Солнца направлении на небе. В феврале Солнце движется на небесной сфере на север, приближаясь к точке весеннего равноденствия (для нас это проявляется в увеличении продолжительности светлого времени суток). Полная Луна, напротив, движется на юг.

Мы пришли к выводу, что Луна 11 февраля движется в юго-восточном направлении (ближе к направлению на восток). Поскольку Луна во время затмения ещё не прошла восходящий узел орбиты, то на схеме затмения она должна находиться южнее эклиптики. Это означает, что восток на схеме находится сверху, а север справа. Луна движется на схеме затмения снизу вверх.

3. В день олимпиады для наблюдателя на Земле Солнце находится в созвездии Козерога. Для наблюдателя на Луне положение Солнца изменится незначительно. Земля в это время закрывает часть Солнца, т. е. также находится в созвездии Козерога.

4. 11 февраля на Южном полюсе Земли полярный день, Солнце над горизонтом, а полная Луна находится под горизонтом. Затмение наблюдать там нельзя. Напротив, на Северном полюсе, где в это время полярная ночь, Луна будет находиться над горизонтом и затмение будет видно.

Две оставшиеся точки находятся рядом с экватором, в противоположных частях планеты. В таблице указано время затмения, оно происходит в ночь с 10 на 11 февраля по всемирному времени. Всемильное время совпадает с местным на нулевой долготе, для наблюдателя в Сан-Томе затмение будет наблюдаться ночью. В Науру, находящемся в противоположной части планеты, в это время будет день, и Луна во время затмения находится под горизонтом.

### **Рекомендации для жюри**

1. Правильное объяснение каждого изображения оценивается в **1 балл**. Если ответ дан без обоснования, оценка не выставляется.

2. За аргументированное верное указание направления на север ставится **2 балла**. Рассуждение может быть лаконичным, ключевым является указание того, что полная Луна движется на восток (всегда) и на юг (в феврале), а до восходящего узла ещё не дошла. За ответ с неверной или отсутствующей аргументацией ставится **0 баллов**.

3. Указание созвездия, в котором находится Солнце, оценивается в **1 балл**. Ещё один балл выставляется за определение того, что Земля находится в том же созвездии. За правильный ответ можно также принять созвездие Водолея (Солнце находится близко к нему и окажется в нём 16 февраля). За ответ с неверной или отсутствующей аргументацией ставится **0 баллов**.

4. За аргументированный верный выбор видимости в каждом из четырёх случаев ставится **1 балл**. За ответ с неверной или отсутствующей аргументацией ставится **0 баллов**.

Максимальная оценка за задачу – **14 баллов**.

*(Д.А. Чулков)*

***Максимальное количество баллов за выполнение всех заданий – 46.***