

Ответы и критерии оценивания

Задание 1

На фотографиях представлены различные небесные явления. Укажите, что за явление изображено на каждом снимке, имея в виду, что изображения не перевернутые, а наблюдения проводились из средних широт Северного полушария Земли.

1



2



3



4



5



6



7



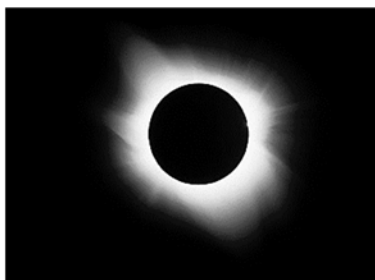
8



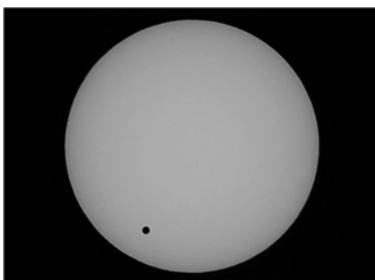
9



10



11



12



Ответы

Обращаем внимание, что в вопросе спрашивается о том, какое явление изображено на картинке (а не объект!). Исходя из этого и производится оценивание.

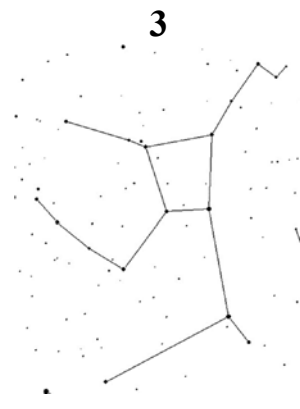
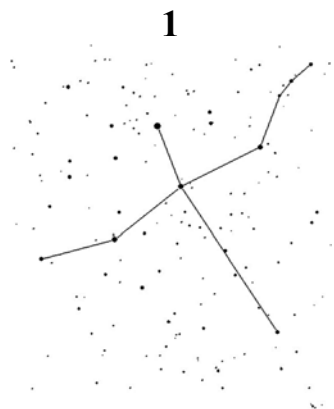
- 1) метеор (**1 балл**; «метеорит» или «болид» не засчитываются);
- 2) метеорный дождь (другой вариант – «метеорный поток») (**1 балл**);
- 3) покрытие Марса Луной (другой вариант – «покрытие планеты Луной») (**1 балл**);
- 4) заход Солнца (**1 балл**);
- 5) покрытие звезды Луной (возможен краткий вариант «покрытие») (**1 балл**);
- 6) заход Луны (возможен вариант ответа «неомения» – первое появление молодой Луны на небе после новолуния) (**1 балл**);
- 7) кольцеобразное солнечное затмение (возможен краткий вариант «солнечное затмение») (**1 балл**);
- 8) лунное затмение (**1 балл**);
- 9) открытие звезды Луной (возможен вариант «конец покрытия») (**1 балл**);
- 10) полное солнечное затмение (возможен вариант «солнечное затмение») (**1 балл**);
- 11) прохождение Венеры по диску Солнца (возможен вариант «прохождение Меркурия по диску Солнца» или «прохождение планеты по диску Солнца») (**1 балл**);
- 12) пепельный свет Луны (**1 балл**).

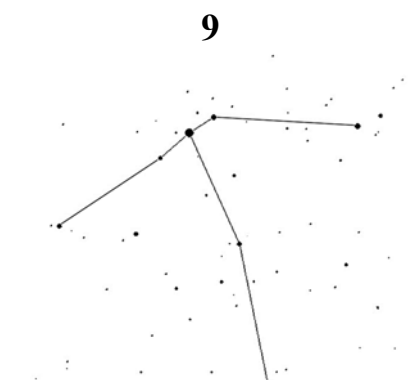
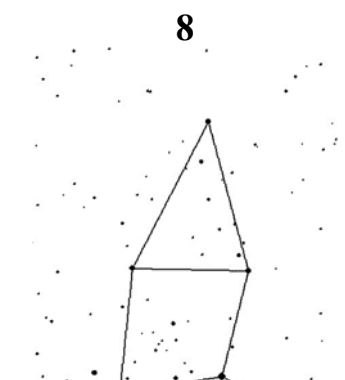
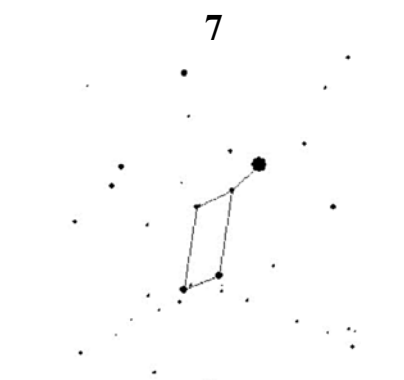
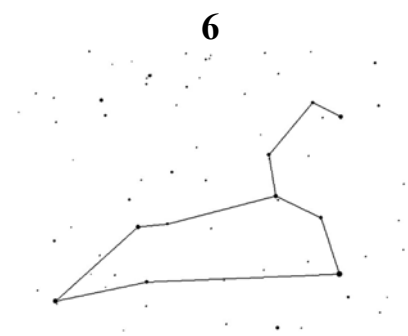
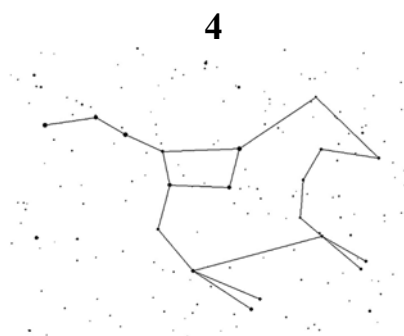
Примечание: все допустимые варианты ответов написаны в скобках.

Максимум за задание – 12 баллов.

Задание 2

На рисунках представлены фигуры нескольких созвездий. Под каждой фигурой указан её номер. Укажите в ответе название каждого созвездия (выпишите пары «номер рисунка – название на русском языке»).





Ответы

- 1) Лебедь (1 балл);
- 2) Орион (1 балл);
- 3) Геркулес (1 балл);
- 4) Большая Медведица (1 балл);
- 5) Кассиопея (1 балл);
- 6) Лев (1 балл);
- 7) Лира (1 балл);
- 8) Цефей (1 балл);
- 9) Орёл (1 балл).

Максимум за задание – 9 баллов.

Задание 3

Нарисуйте верную последовательность смены лунных фаз (достаточно нарисовать основные фазы) при наблюдении из средних широт Северного полушария Земли. Подпишите их названия. Рисунок начните с полнолуния, неосвещённые Солнцем части Луны заштриховывайте.

Ответ

Один из возможных вариантов рисунка (2 балла за верный вариант):



Основными фазами обычно считают полнолуние, последнюю четверть, новолуние, первую четверть (3 балла). Здесь перечислены фазы Луны в том порядке, в котором они приведены на рисунке.

При отсутствии одной из фаз на рисунке **снимается 1 балл**. За ошибочное указание названия фазы **снимается 1 балл**. Оценка за задачу не может быть отрицательной.

При оценивании рисунка надо обращать внимание на то, чтобы терминатор (граница светло/темно на поверхности Луны) проходил через полюса Луны (т. е. недопустимо рисование фазы, как «откушенное яблоко»). Если это не так в ответе, оценка **снижается на 1 балл**.

Примечание: в решении приведён минимальный вариант рисунка. Не обязательно в конце ещё раз рисовать Луну в полнолунии. Допустимо изображение промежуточных фаз:



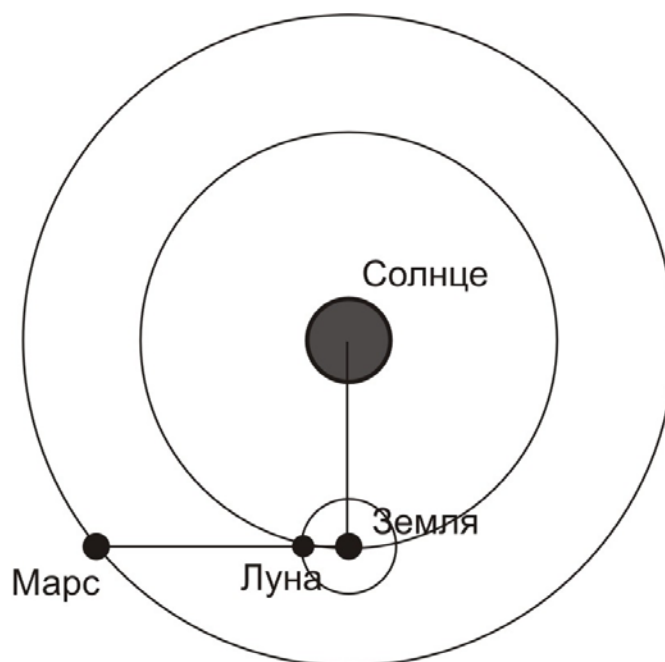
Максимум за задание – 5 баллов.

Задание 4

Марс, находящийся в восточной квадратуре, и Луна наблюдаются в соединении. Какова фаза Луны в этот момент? Ответ объясните, приведите рисунок, на котором изобразите описываемую ситуацию.

Ответ

На рисунке показаны положения всех тел, участвующих в описываемой ситуации (такой рисунок должен быть приведён в работе: **3 балла**). При таком положении Луны относительно Земли и Солнца будет наблюдаться первая четверть (растущая Луна) (**2 балла**).



Примечание: рисунок может быть несколько иным (например, вид взаимного расположения светил на небе для наблюдателя на поверхности Земли), главное, чтобы взаимное положение тел было указано верно и было понятно, почему Луна будет именно в той фазе, что приведена в ответе.

Максимум за задание – 5 баллов.

Задание 5

С какой средней скоростью движется граница день/ночь по поверхности Луны ($R = 1738$ км) в районе её экватора? Ответ выразите в км/ч и округлите до целого. Для справки: синодический период обращения Луны (период смены лунных фаз) примерно равен 29,5 суток, сидерический период обращения (период осевого вращения Луны) примерно равен 27,3 суток.

Ответ

Длина экватора Луны $L = 2\pi R \approx 2 \times 1738 \times 3,14 = 10\,920,2$ км (**1 балл**). Для решения задачи необходимо использовать величину синодического периода

обращения, т.к. за движение границы день/ночь по поверхности Луны отвечает не только вращение Луны вокруг своей оси, но и положение Солнца относительно Луны, которое меняется вследствие движения Земли по своей орбите. Период смены лунных фаз $P \approx 29,5$ сут. = 708 ч (**2 балла** – если нет объяснения, почему использован именно этот период; **4 балла** – если есть верное объяснение; за использование сидерического периода **1 балл**). Значит, скорость будет $V = L/P = 10\,920,2/708$ км/ч ≈ 15 км/ч (**1 балл**; этот балл ставится за вычисление скорости, в том числе и при использовании значения 27,3 – ответ при этом будет 16,7 км/ч).

Примечание: решение может быть сделано «в одну строку». Оценка при этом не снижается. За ответ без решения оценка **1 балл**.

Максимум за задание – 6 баллов.

Задание 6

Есть ли на Земле такие регионы (если да, то где они находятся), где в некоторый момент времени все зодиакальные созвездия находятся на горизонте?

Ответ

Как известно, зодиакальными называются созвездия, по которым проходит Солнце, т. е. которые пересекает эклиптика. Значит, нужно определить, где и когда эклиптика совпадает с горизонтом. В этот момент будут совпадать не только плоскости горизонта и эклиптики, но и полюса эклиптики с зенитом и надиром. Т. е. в этот момент один из полюсов эклиптики проходит через зенит. Координаты северного полюса эклиптики (см. рисунок):

$$\delta_n = 90^\circ - \varepsilon = 66,5^\circ$$

$$\alpha_n = 18^h$$

и южного, т. к. он в противоположной точке:

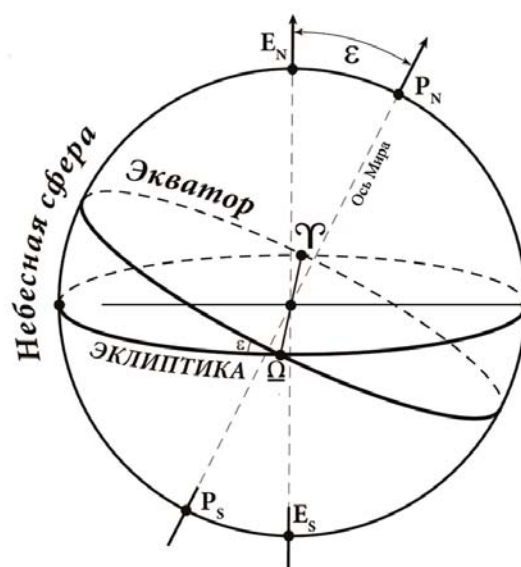
$$\delta_n = -(90^\circ - \varepsilon) = -66,5^\circ$$

$$\alpha_n = 6^h$$

Точка со склонением $\pm 66,5^\circ$ кульминирует в зените на полярном круге (Северном или Южном): $h = 90 - \varphi + \delta$.

Конечно, возможны отклонения от полярного круга на несколько градусов, т. к. созвездия – достаточно протяжённые объекты.

Оценка за задачу (полное решение – **6 баллов**) складывается из правильного объяснения условия (кульминация полюса эклиптики в зените или, например, одновременная верхняя и нижняя кульминация двух противоположных точек



эклиптики на горизонте), при котором возможна описываемая ситуация (**3 балла**), верного определения широты наблюдения (**2 балла**), указания на то, что таких областей будет две – в Северном и Южном полушариях Земли (**1 балл**).

Примечание: определять координаты полюсов эклиптики, как это сделано в решении, не обязательно (их можно знать). Допустим другой ход решения.

Максимум за задание – 6 баллов.

Задание 7

Люди запустили на низкую орбиту Луны (высота 50 км) станцию. С каким интервалом времени мы будем её видеть то с одного края лунного диска, то с другого? Масса Луны $M = 7,35 \times 10^{22}$ кг, радиус Луны $R = 1738$ км, гравитационная постоянная $G = 6,67 \times 10^{-11}$ Н \times м² / кг².

Ответ

Низкая орбита означает, что высотой можно пренебречь по сравнению с радиусом Луны. А значит, аппарат будет появляться рядом с лимбом дважды за период обращения вокруг Луны, через равные промежутки времени, по половине своего орбитального периода. Период лунной станции будет равен:

$$T = \frac{2\pi R_L}{V_L}$$

V_L – круговая скорость станции на окололунной орбите (т. е. первая космическая скорость для Луны).

$$V_L = \sqrt{\frac{GM_L}{R_L}} = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 7.35 \cdot 10^{22}}{1.738 \cdot 10^6}} = 1679.5 \approx 1680 \text{ м/с}$$

1 вариант

$$\text{Значит, } T = \frac{2 \cdot 3.1416 \cdot 1.738 \cdot 10^6}{1680} = 6500 \text{ с} = 1.8 \text{ ч}$$

И период появления станции рядом с лимбом составит половину орбитального:

$$t = T/2 = 0,9 \text{ часа.}$$

2 вариант

Можно не сразу подставлять численные значения в формулы, а преобразовать их, выразив период обращения через среднюю плотность Луны (величина плотности не дана в условии, но учащийся может её вычислить или знать – приближенное значение 3300 кг/м³):

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi R_{\text{л}}}{V_{\text{л}}} = \frac{2\pi R_{\text{л}}}{\sqrt{\frac{GM_{\text{л}}}{R_{\text{л}}}}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_{\text{л}}^3}{GM_{\text{л}}}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_{\text{л}}^3}{G\rho_{\text{л}} \frac{4}{3}\pi R_{\text{л}}^3}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho_{\text{л}}}} = \\ &= \sqrt{\frac{3 \cdot 3,1416}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 3,3 \cdot 10^3}} \approx 6540 \text{ с} \approx 1,8 \text{ часа.} \end{aligned}$$

И период появления станции рядом с лимбом составит половину орбитального:

$$t = T/2 = 0,9 \text{ часа.}$$

3 вариант

Можно решать задачу, используя 3-й закон Кеплера (в обобщённом виде):

$$\frac{T_3^2 M + m_3}{T^2 M_{\text{л}} + m} = \frac{a_3^3}{R_{\text{л}}^3}$$

(здесь M – масса Солнца, m – масса спутника, T_3 , m_3 и a_3 – период обращения Земли вокруг Солнца, масса Земли и радиус орбиты Земли соответственно). Возможна запись этого закона для другого набора тел, например для системы Земля – Луна (вместо системы Солнце – Земля).

Пренебрегая малыми массами по сравнению с большой, получим:

$$\frac{T_3^2 M}{T^2 M_{\text{л}}} = \frac{a_3^3}{R_{\text{л}}^3}$$

Отсюда искомый период будет равен:

$$T = T_3 \sqrt{\frac{M R_{\text{л}}^3}{M_{\text{л}} a_3^3}} \approx 1,8 \text{ часа.}$$

И период появления станции рядом с лимбом составит половину орбитального:

$$t = T/2 = 0,9 \text{ часа.}$$

Оценивание

Допустимы и другие способы решения. Все варианты решения должны приводить к одинаковым ответам (допустимы некоторые отклонения, связанные с тем, что в вариантах 2 и 3, а также в других вариантах могут использоваться несколько отличающиеся числовые значения).

Варианты 1 и 2. Определение длины орбиты спутника ($2\pi R_{\text{л}} \approx 10\,920$ км) – **1 балл**; определение орбитальной скорости спутника $V_{\text{л}}$ – **2 балла**; вычисление

периода обращения – **1 балл**; нахождение ответа (деление орбитального периода на 2) – **2 балла**.

Вариант 3. Запись 3-го закона Кеплера в уточнённой форме для участвующих в задаче тел – **2 балла** (если закон записан в общем виде и на этом решение заканчивается – **1 балл**). Корректное пренебрежение малыми массами (т. е. массой спутника по сравнению с массой Луны, массой Земли по сравнению с массой Солнца, массой Луны по сравнению с массой Земли) – **1 балл** (эти массы могут быть сразу опущены в формуле, балл за это всё равно выставляется). Запись выражения для периода спутника – **1 балл**, нахождение ответа (деление орбитального периода на 2) – **2 балла**.

За превышение точности в конечном ответе (число знаков после запятой больше двух) снимается **1 балл**.

Примечание: можно не пренебрегать высотой орбиты по сравнению с радиусом Луны (численный ответ практически не изменится). Разрешается сразу воспользоваться готовой формулой для периода обращения (последняя форма записи формулы в решении в варианте 2) – оценка за это не снижается (при верных вычислениях – **4 балла** за этот этап решения).

Максимум за задание – 6 баллов.

Задание 8

Предположим, учёные создали неподвижный Большой полярный телескоп для наблюдения суточного вращения звёзд непосредственно вблизи полюса мира, направив его трубу точно на северный полюс мира. Точно в центре поля зрения они обнаружили Очень Интересный Внегалактический Источник. Поле зрения этого телескопа составляет 10 угловых минут. Через сколько лет учёные не смогут больше наблюдать этот Источник с помощью этого телескопа?

Ответ

Полюс мира вращается вокруг полюса эклиптики с периодом примерно $T_p \approx 26\,000$ лет (**1 балл**). Угловое расстояние между этими полюсами (**2 балла**) – не что иное, как $\varepsilon \approx 23,5^\circ$ (т. е. 90° – угол наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики). Т. к. полюс мира движется по малому кругу небесной сферы, угловая скорость его движения относительно наблюдателя будет меньше угловой скорости вращения точки на небесном экваторе в $1/\sin(\varepsilon)$ раз (**2 балла**).

Так как изначально телескоп смотрит точно на полюс мира и на Источник, максимально возможное время наблюдения Источника составит:

$$t = \frac{\frac{1}{2} \cdot 10'}{360^\circ \sin(\varepsilon)} T_p \approx 15 \text{ лет (3 балла)}.$$

Спустя это время Источник выйдет из поля зрения телескопа (полюс мира будет по-прежнему в центре поля, т. к. телескоп на Земле стоит неподвижно,

будучи изначально направленным на полюс мира; напомним, что полюс мира по сути – точка пересечения продолжения оси вращения Земли с небесной сферой).

Если в конечном ответе учащийся не разделяет положения полюса мира и Источника, то при верном численном ответе выставляется **не более 6 баллов**.

Примечание: везде в решении можно использовать $\cos(90-\epsilon)$ или $\cos(66.5^\circ)$ вместо $\sin(\epsilon)$. Возможны другие решения задачи.

Максимум за задание – 8 баллов.

Всего за работу – 57 баллов.