Ответы и критерии оценивания

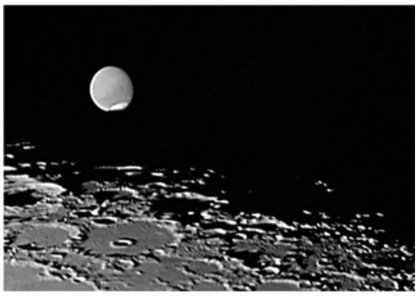
Задание 1

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

1

2

3



4

5

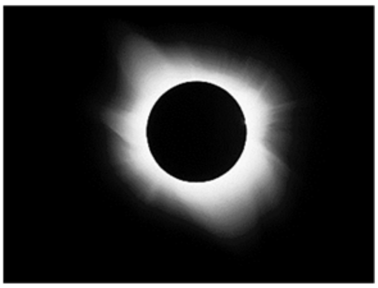
6

7

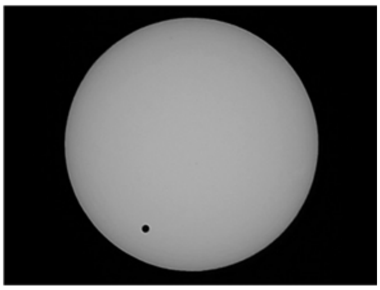
8

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**).

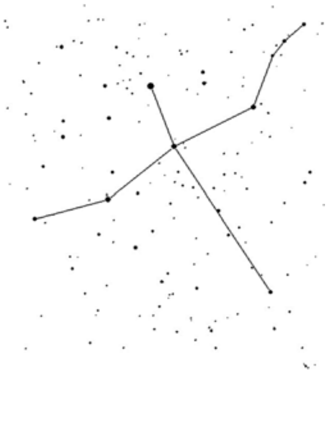
Примечание: все допустимые варианты ответов написаны в скобках.

Максимум за задание ***– 12 баллов.***

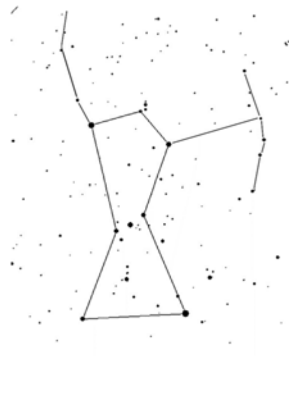
Задание 2

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»).

1



2



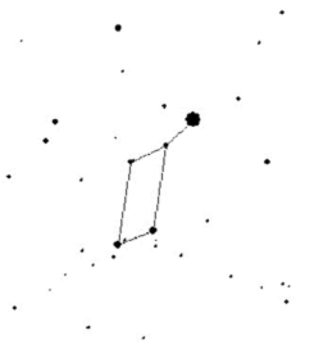
3

4

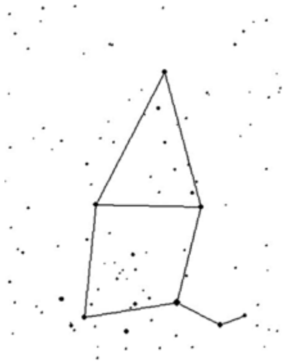
5

6

7



8



9

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:

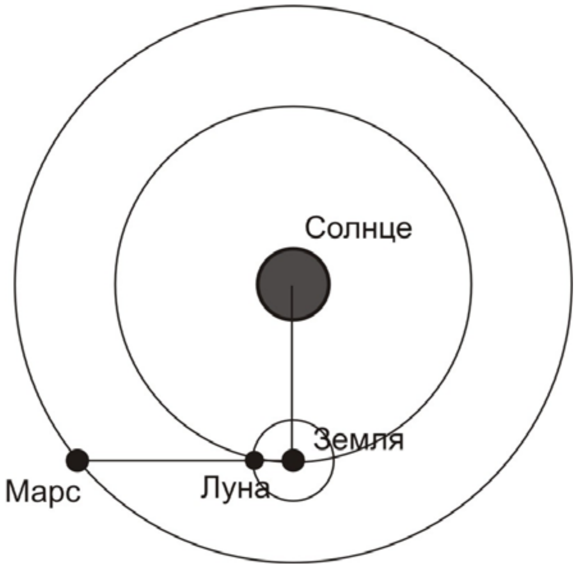
Максимум за задание ***– 5 баллов.***

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**.

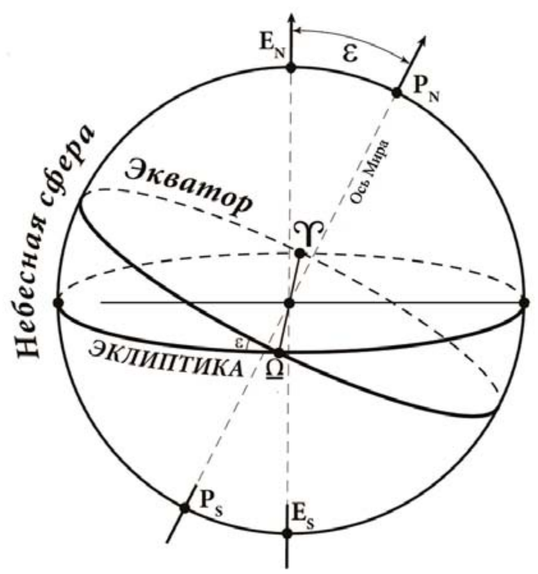
Максимум за задание ***– 6 баллов.***

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):



$$\delta_n = 90° - \varepsilon = 66{,}5°$$

$$\alpha_n = 18^h$$

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

$$\delta_n = -(90° - \varepsilon) = -66{,}5°$$

$$\alpha_n = 6^h$$

Точка со склонением ±66,5° 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 × м^2 / кг^2.

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:

$$T = \frac{2\pi R_л}{V_л}$$

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

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

<u>*1 вариант*</u>

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

И период появления станции рядом с лимбом составит половину орбитального:

$$t = {}^{T}/_{2} = 0{,}9 \text{ часа.}$$

<u>*2 вариант*</u>

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/м^3):

$$T = \frac{2\pi R_л}{V_л} = \frac{2\pi R_л}{\sqrt{\frac{GM_л}{R_л}}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_л^3}{GM_л}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_л^3}{G\rho_л \frac{4}{3}\pi R_л^3}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho_л}} =$$

$$= \sqrt{\frac{3 \cdot 3{,}1416}{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 3{,}3 \cdot 10^{3}}} \approx 6540\ c \approx 1{,}8 \text{ часа.}$$

И период появления станции рядом с лимбом составит половину орбитального:

$$t = {}^{T}/_{2} = 0{,}9 \text{ часа.}$$

<u>*3 вариант*</u>

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

$$\frac{T_З^2}{T^2}\frac{M+m_з}{M_л+m}=\frac{a_з^3}{R_л^3}$$

(здесь M – масса Солнца, m – масса спутника, $T_з$, $m_з$ и $a_з$ – 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:

$$\frac{T_З^2}{T^2}\frac{M}{M_л}=\frac{a_з^3}{R_л^3}$$

Отсюда искомый период будет равен:

$$T=T_з\sqrt{\frac{M}{M_л}\frac{R_л^3}{a_з^3}}\approx 1{,}8\ \text{часа}.$$

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 ($2\pi R_л \approx 10\,920$ км) – **1 балл**; определение орбитальной скорости спутника Vл – **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 Tp ≈ 26 000 лет (**1 балл**). Угловое расстояние между этими полюсами (**2 балла**) – не что иное, как ε ≈ 23,5° (т. е. 90° − угол наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики). Так как 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(ε) раз (**2 балла**).

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

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

Спустя это время Источник выйдет из поля зрения телескопа (полюс мира будет по-прежнему в центре поля, так как 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-ε) или cos(66.5°) вместо sin(ε). Возможны другие решения задачи.

Максимум за задание ***– 8 баллов.***

Задание 9

При доставке на лунную базу грузов и пассажиров корабль выходит на круговую окололунную орбиту с высотой 25 км над поверхностью Луны. Над посадочной площадкой он компенсирует свою орбитальную скорость и начинает свободное падение на Луну. На некоторой высоте включаются тормозные двигатели, которые до посадки работают постоянно. На какой высоте перед посадкой он должен был включить тормозные двигатели, чтобы, двигаясь с постоянным ускорением, равным двум земным ускорениям свободного падения, совершить мягкую посадку (с нулевой скоростью)? Считать, что изменением ускорения свободного падения с высотой можно пренебречь. Масса Луны в 81 раз меньше земной, радиус Луны в 3,67 раза меньше радиуса Земли.

Ответ

Посадка корабля распадается на два этапа: 1) свободное падение (т. е. набор скорости), длящееся наибольшее время, и 2) её компенсация до нуля при конечной посадке. Оба движения равноускоренные. В первом случае ускорение корабля равно лунному ускорению свободного падения, во втором – результирующее ускорение обратно по направлению лунному и равно двум земным. Запишем уравнения, описывающие изменение скорости. Начальная скорость на первом этапе и конечная скорость на последнем этапе равны 0:

$$V_{\text{падения}} = g_{\text{Л}} t_{\text{падения}} \text{ и } V_{\text{торможения}} - 2g_{\text{З}} t_{\text{торможения}} = 0$$

Так как конечная скорость падения равна начальной скорости торможения, нам будет известно соотношение времён падения и торможения:

$$\frac{t_{\text{падения}}}{t_{\text{торможения}}} = \frac{2g_{\text{З}}}{g_{\text{Л}}} = 2\frac{G\frac{M_{\text{З}}}{R_{\text{З}}^2}}{G\frac{M_{\text{Л}}}{R_{\text{Л}}^2}} = 2\frac{M_{\text{З}}}{M_{\text{Л}}} \cdot \frac{R_{\text{Л}}^2}{R_{\text{З}}^2} = 2 \cdot 81 \cdot \frac{1}{3{,}67^2} \approx 12$$

Из условия следует, что:

$$S_{\text{падения}} + S_{\text{торможения}} = 25 \text{ км}$$

$$\frac{S_{\text{падения}}}{S_{\text{торможения}}} = \frac{\frac{g_{\text{Л}} t_{\text{падения}}^2}{2}}{V_{\text{падения}} t_{\text{торможения}} - \frac{2g_{\text{З}} t_{\text{торможения}}^2}{2}} =$$

$$= \frac{\frac{g_{\text{Л}} t_{\text{падения}}^2}{2}}{g_{\text{Л}} t_{\text{падения}} t_{\text{торможения}} - g_{\text{З}} t_{\text{торможения}}^2} =$$

$$= \frac{\frac{g_Л t^2_{падения}}{2}}{\left(g_Л \frac{t_{падения}}{t_{торможения}} - g_З\right) t^2_{торможения}} = \frac{g_Л}{g_Л \left(\frac{t_{падения}}{t_{торможения}} - \frac{g_З}{g_Л}\right)} \cdot \frac{t^2_{падения}}{2t^2_{торможения}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{t_{падения}}{t_{торможения}} - \frac{1}{2}\frac{t_{падения}}{t_{торможения}}} \cdot \frac{t^2_{падения}}{2t^2_{торможения}} =$$

$$= \frac{t_{падения}}{t_{торможения}} \approx 12$$

Решая систему из двух уравнений, получаем, что корабль должен начать торможение на высоте примерно 1,9 км.

Оценивание

Задача построена на комбинации известных школьных формул для равноускоренного движения. За запись выражения для скорости и пути при равноускоренном движении – по **1 баллу**. За запись (использование) формулы для ускорения свободного падения (или использование известной учащемуся величины ускорения свободного падения на Луне – примерно 1,6 м/с^2) – **2 балла**. За получение верного числового конечного ответа (в диапазоне от 1,6 до 2,2 км) **– 4 балла**.

Примечание: оценка не снижается за использование числовых значений для различных величин (например, учащийся может знать величину свободного падения на Луне (примерно 1,6 м/с^2) и использовать её при решении). Формулу для отношения путей на разных этапах движения можно было бы получить и из общих соображений. Но недопустима простая запись этой формулы ($S_{падения}/S_{торможения}= t_{падения}/t_{торможения}$ – как при движении с постоянной скоростью) без объяснений, почему такая запись «легитимна» в нашем случае (в этом случае за получение конечного ответа выставляется только **2 балла**).

Максимум за задание ***– 8 баллов.***

Задание 10

Масса всех астероидов главного пояса оценивается в 50% массы Луны. Допустим, человечество решило очистить Солнечную систему и собрало их все в один планетоид на расстоянии 3 а. е. от Солнца. Можно ли будет увидеть эту новую планету невооружённым глазом с Земли? Среднюю плотность и отражательную способность астероидов и получившегося планетоида считать одинаковыми и равными соответствующим величинам для Луны. Для справки: расстояние до Луны равно 384 000 км, видимая звёздная величина Луны в полнолуние составляет $-12{,}6^{\mathrm{m}}$.

Ответ

Выразим соотношение размеров нового планетоида и Луны:

$$\frac{\mathrm{M_п}}{\mathrm{M_л}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R_п^3\rho}{\frac{4}{3}\pi R_л^3\rho} = 0{,}5 => \frac{R_п}{R_л} = \sqrt[3]{0{,}5} \approx 0{,}8$$

Определим отношение освещённостей, создаваемых этими небесными телами на Земле, в противостояниях:

$$E_л = \frac{L_\odot}{4\pi a_\oplus^2} A_л \frac{\pi R_л^2}{4\pi a_л^2} \qquad E_п = \frac{L_\odot}{4\pi a_п^2} A_п \frac{\pi R_п^2}{4\pi(\mathrm{a_п} - \mathrm{a_\oplus})^2}$$

Так как альбедо поверхности планетоида такое же, как у Луны, то отношение освещённостей, создаваемых Луной и планетоидом на поверхности Земли:

$$\frac{E_л}{E_п} = \frac{\frac{L_\odot}{4\pi a_\oplus^2} A_л \frac{\pi R_л^2}{4\pi a_л^2}}{\frac{L_\odot}{4\pi a_п^2} A_п \frac{\pi R_п^2}{4\pi(\mathrm{a_п} - \mathrm{a_\oplus})^2}} = \left(\frac{\mathrm{a_п}}{\mathrm{a_\oplus}}\right)^2 \left(\frac{R_л}{R_п}\right)^2 \left(\frac{\mathrm{a_п} - \mathrm{a_\oplus}}{\mathrm{a_л}}\right)^2 =$$

$$= (3{,}5)^2(1/0{,}8)^2\left(\frac{3{,}0 \cdot 1{,}5 \cdot 10^8 - 1{,}5 \cdot 10^8}{3{,}84 \cdot 10^5}\right)^2 = 1.17 \cdot 10^7,$$

где $\frac{L_\odot}{4\pi a_\oplus^2}$ и $\frac{L_\odot}{4\pi a_п^2}$ – освещённости, создаваемые Солнцем на поверхности Луны и планетоида (расстояние от Солнца до Луны считаем равным расстоянию от Солнца до Земли $\mathrm{a_\oplus}$), $\mathrm{a_л}$ – расстояние от Луны до Земли, $\mathrm{a_п}$ – расстояние от планетоида до Солнца.

В полнолуние видимая звёздная величина Луны составляет $-12{,}6^{\mathrm{m}}$. Подставим известные данные в формулу Погсона:

$$m_п = m_л + 2{,}5\lg\left(\frac{E_л}{E_п}\right) = 5^m$$

Далее вспоминаем, что невооружённым глазом видны звёзды до шестой звёздной величины. Можно сказать, что такой объект заметить будет можно. Также стоит заметить, что сборка планетоида означает нарушение его поверхности и выход наружу более светлого вещества и повышение отражающей способности в 2 или 3 раза. Это позволит этому объекту прибавить в яркости до одной звёздной величины.

Оценивание

Решение, представленное выше, – не единственно возможное. Решать эту задачу не обязательно через сравнение тела с Луной. Это может быть и какой-нибудь известный астероид.

За указание на то, что наблюдать новую планету надо в противостоянии – **1 балл**. За определение размера планетоида (в км или относительно «опорного» тела) **– 1 балл**. За запись выражения для освещённости (освещённость пропорциональна квадрату радиуса планеты и обратно пропорциональна квадрату расстояния от Солнца и квадрату расстояния от наблюдателя) **– 3 балла**. За запись формулы Погсона (либо её использование) **– 1 балл** (формула может использоваться в разных вариантах). За вычисление звёздной величины **– 1 балл** (конечный ответ зависит от принятых величин).

Вывод о возможности/невозможности наблюдения зависит, конечно, от полученного численного ответа. Эта оценка не зависит от всех предыдущих шагов. Мы проверяем, знает ли учащийся, что невооружённым глазом видны объекты до шестой величины (здесь также допустимо колебание от 5,5 до 6,5). Соответственно, **1 балл** ставится за верный по отношению к принятой границе ответ (будет/не будет).

Ответ «можно увидеть» без вычислений и обоснования оценивается в **1 балл**.

Примечание: верный ответ может быть дан без большого числа численных выкладок. Однако он должен быть хорошо аргументирован. Например, известно, что астероид Веста может достигать блеска около 5^m (правда, при расстоянии меньшем, чем дано в условии – 2,2 а. е.). Если к нему прилепить все остальные астероиды, не меняя альбедо, то блеск итогового планетоида, очевидно, вырастет, и его совершенно точно можно будет наблюдать невооружённым глазом. При этом мы нарушаем условие задачи – альбедо должно быть таким же, как у Луны. Соответственно, в такого рода ответе должна быть учтена разность в расстояниях и размерах, а также сделано указание на возможное отличие в отражательной способности вещества. Если всё это выполнено, такое решение оценивается в **4 балла** (если в ответе просто упоминается какой-либо известный астероид (например, Веста) и на основании этого даётся ответ, то ставится **2 балла**).

Максимум за задание ***– 8 баллов.***

Всего за работу – 73 балла.

Выполняйте задания на бланке работы!