

## 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



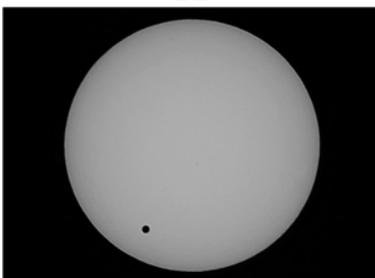
9



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.

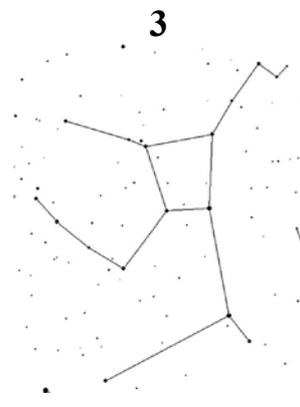
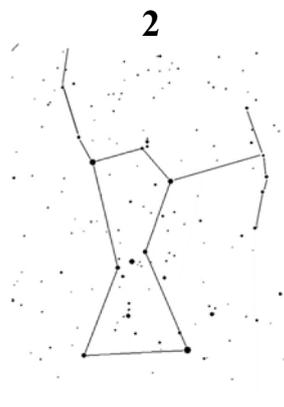
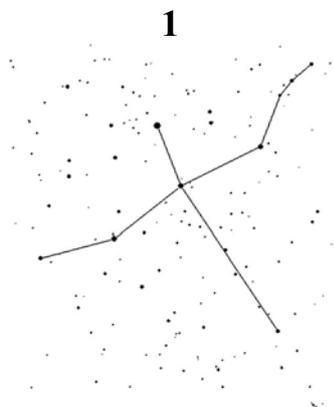
- 1) метеор (**1 балл**; «метеорит» или «болид» не засчитываются);
- 2) метеорный дождь (другой вариант – «метеорный поток») (**1 балл**);
- 3) покрытие Марса Луной (другой вариант – «покрытие планеты Луной») (**1 балл**);
- 4) заход Солнца (**1 балл**);
- 5) покрытие звезды Луной (возможен краткий вариант «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**).

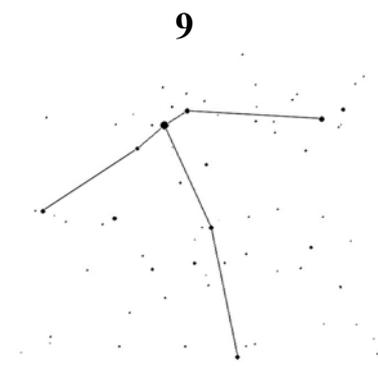
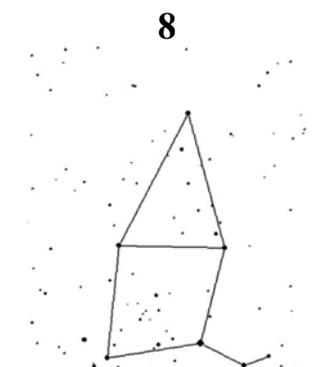
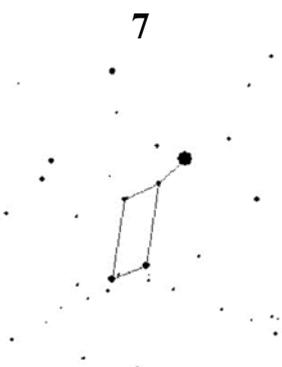
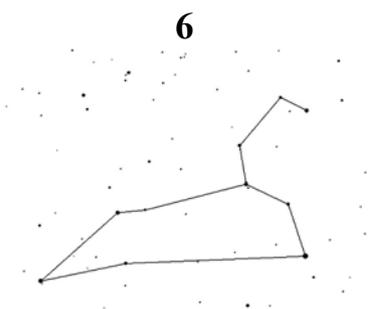
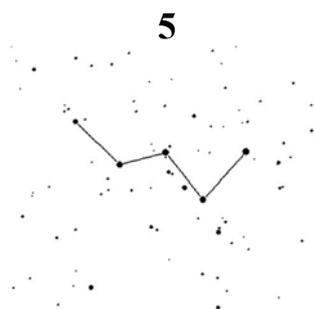
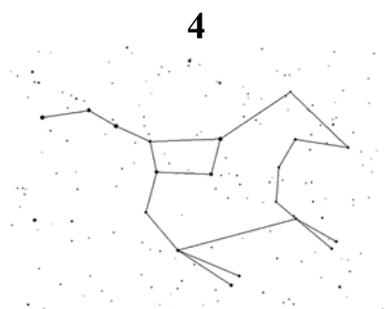
*Примечание:* все допустимые варианты ответов написаны в скобках.

*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:



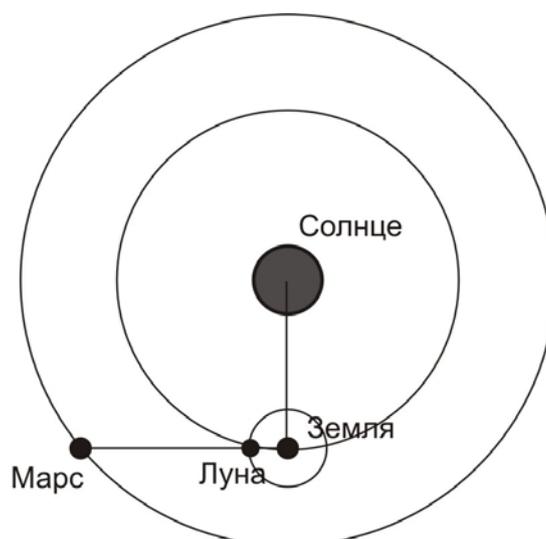
*Максимум за задание – 5 баллов.*

#### 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  $\approx 15$  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):

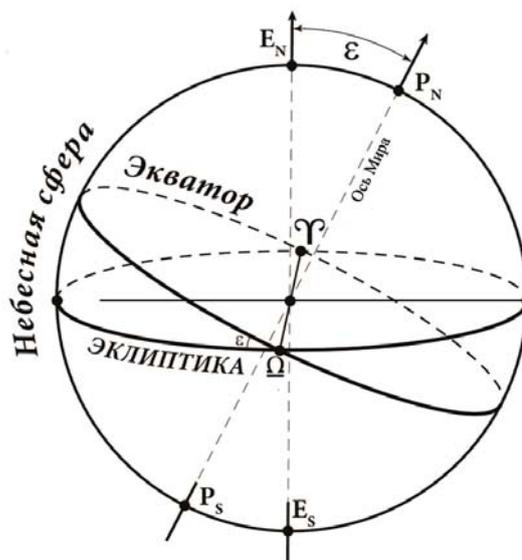
$$\delta_n = 90^\circ - \varepsilon = 66,5^\circ$$

$$\alpha_n = 18^h$$

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  $\times$  м<sup>2</sup> / кг<sup>2</sup>.

#### 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

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  $3300 \text{ кг/м}^3$ ):

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi R_L}{V_L} = \frac{2\pi R_L}{\sqrt{\frac{GM_L}{R_L}}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_L^3}{GM_L}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_L^3}{G\rho_L \frac{4}{3}\pi R_L^3}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho_L}} = \\ &= \sqrt{\frac{3 \cdot 3,1416}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 3,3 \cdot 10^3}} \approx 6540 \text{ с} \approx 1,8 \text{ часа.} \end{aligned}$$

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):

$$\frac{T_3^2 M + m_3}{T^2 M_L + m} = \frac{a_3^3}{R_L^3}$$

(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.  $90^\circ$  – 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  $1/\sin(\varepsilon)$  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, 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  $\cos(90-\varepsilon)$  или  $\cos(66.5^\circ)$  вместо  $\sin(\varepsilon)$ . 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:

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

$$\begin{aligned} \frac{S_{\text{падения}}}{S_{\text{торможения}}} &= \frac{\frac{g_{\text{л}} t_{\text{падения}}^2}{2}}{V_{\text{падения}} t_{\text{торможения}} - \frac{2g_{\text{з}} t_{\text{торможения}}^2}{2}} = \\ &= \frac{\frac{g_{\text{л}} t_{\text{падения}}^2}{2}}{g_{\text{л}} t_{\text{падения}} t_{\text{торможения}} - g_{\text{з}} t_{\text{торможения}}^2} = \\ &= \frac{\frac{g_{\text{л}} t_{\text{падения}}^2}{2}}{\left(g_{\text{л}} \frac{t_{\text{падения}}}{t_{\text{торможения}}} - g_{\text{з}}\right) t_{\text{торможения}}} = \frac{g_{\text{л}}}{g_{\text{л}} \left(\frac{t_{\text{падения}}}{t_{\text{торможения}}} - \frac{g_{\text{з}}}{g_{\text{л}}}\right)} \cdot \frac{t_{\text{падения}}^2}{2t_{\text{торможения}}^2} = \\ &= \frac{1}{\frac{t_{\text{падения}}}{t_{\text{торможения}}} - \frac{1}{2} \frac{t_{\text{падения}}}{t_{\text{торможения}}}} \cdot \frac{t_{\text{падения}}^2}{2t_{\text{торможения}}^2} = \\ &= \frac{t_{\text{падения}}}{t_{\text{торможения}}} \approx 12 \end{aligned}$$

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  $1,6 \text{ м/с}^2$ ) – **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  $1,6 \text{ м/с}^2$ ) 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 ( $S_{\text{падения}}/S_{\text{торможения}} = t_{\text{падения}}/t_{\text{торможения}}$  – 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.*

***Всего за работу – 65 баллов.***