

# ПРИМЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО АСТРОНОМИИ

ВсОШ, муниципальный этап 2015/2016

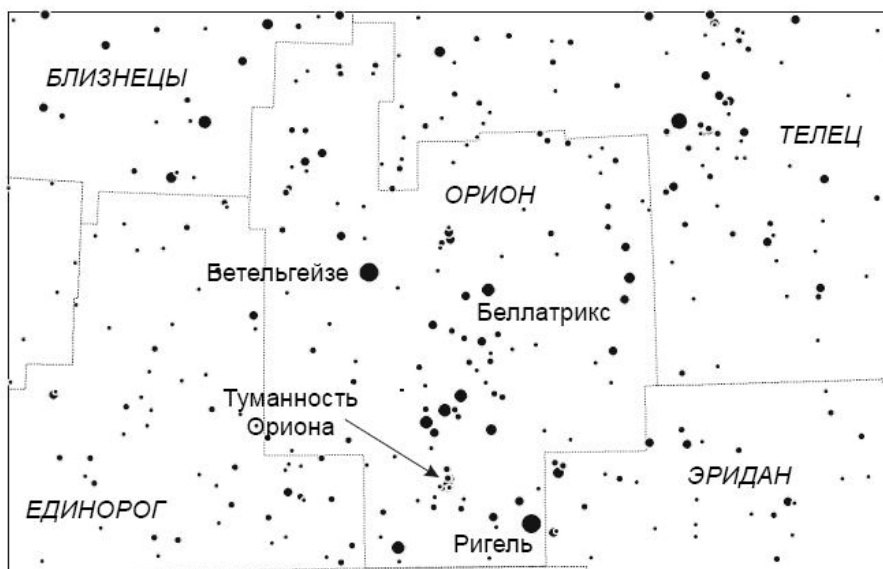
## 7-8 классы

1. Сегодня и всегда день равен ночи на экваторе. Но если сегодня день весеннего или осеннего равноденствия, то день равен ночи и во всех прочих местах Земли (кроме полюсов, конечно).
2. Венера на нашем небе никогда не удаляется от Солнца более чем на  $46^\circ$ , следовательно, она не может быть на востоке, когда Солнце на западе.
3. Солнечный ветер – это потоки разреженного газа и плазмы, истекающие из атмосферы Солнца во всех направлениях. Его причиной служит сильный разогрев нижних слоев солнечной короны потоками электромагнитной и акустической энергии, поступающими из плотных нижних слоев атмосферы Солнца. В окрестности Земли скорость солнечного ветра около 400 км/с. Сталкиваясь с магнитосферами и атмосферами планет, солнечный ветер искажает их форму, вызывает в них химические реакции, ионизацию газа и его свечение. Солнечный ветер выдувает вокруг Солнца каверну, свободную от межзвездной плазмы (гелиосферу), которая простирается за орбиту Плутона; ее граница пока точно не установлена.

4.

$$F = G \frac{mM}{(R+h)^2} - \text{сила притяжения ИСЗ}, \quad F = \frac{v^2 m}{R+H}$$
$$G \frac{mM}{(R+h)^2} = \frac{v^2 m}{R+H}, \text{ отсюда период } T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g} \left(1 + \frac{h}{R}\right)^3} = 7200 \text{ с} = 2 \text{ ч}$$

5. Известно, что  $1 \text{ км/с} = 1000 \text{ м/с}$ ,  $1 \text{ парсек} \approx 3,2 \cdot 10^{16} \text{ м}$ ,  $1 \text{ год}$  содержит около  $3,2 \cdot 10^7 \text{ с}$ , отсюда миллион лет – это  $3,2 \cdot 10^{13} \text{ с}$ . За это время звезда пройдет  $10^4 \text{ м/с} \cdot 3,2 \cdot 10^{13} \text{ с} \approx 3,2 \cdot 10^{17} \text{ м}$ , или около 10 парсек.
6. На рисунке показано созвездие Ориона. Основными объектами этого созвездия являются яркие звезды Бетельгейзе, Ригель и Беллатрикс, три звезды, образующие «пояс Ориона», газовая Туманность Ориона (М 42 и М 43). Внутри туманности Ориона располагается кратная звезда  $\theta$  Ориона («Трапеция Ориона»). Эти объекты и соседние созвездия подписаны на звездной карте. Во время проведения олимпиады (в ноябре) созвездие Ориона видно ночью в южной части неба.



# ПРИМЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО АСТРОНОМИИ

ВсОШ, муниципальный этап 2015/2016

## 9 класс

1. Основным доказательством отсутствия у Луны сколько-нибудь заметной атмосферы служит отсутствие уменьшения яркости звезд перед началом и сразу после их покрытия Луной. Кроме того, можно привести и другие факты: наличие на поверхности резких теней, отсутствие рассеянного света вблизи терминатора, отсутствие явления удлинения рогов лунного серпа за линию полярного диаметра диска (как это наблюдается у Венеры).
2. Освещенная часть Луны, изображенной на рисунке, находится слева. Учитывая, что наблюдения проводились на «нашей» широте (в северном полушарии) и без использования оптических приборов, которые могут переворачивать изображение, можно предположить, что это обычная фаза Луны между полнолунием и последней четвертью. Однако при такой фазе терминатор «выгнут» в другую сторону. Поэтому школьник на своем рисунке изобразил частную фазу теневого затмения (фаза полутеневого затмения невооруженным глазом незаметна). Осталось выяснить, что это – начало или конец затмения. Так как Луна обращается вокруг Земли против часовой стрелки, то она в момент начала лунного затмения входит в тень Земли левым краем, обращенным к востоку. На рисунке тень справа (на западном крае), поэтому наш любитель астрономии стал свидетелем окончания полного лунного затмения.
3. Телескоп, Секстант – астрономические инструменты. Насос, Резец, Циркуль, Весы, Микроскоп, Компас.
4. Как следует из второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения,

$$mg = G \frac{mM_3}{R_3^2},$$

$m$  – масса тела, находящегося на поверхности Земли.

Отсюда

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}.$$

Аналогично получаем

$$a = G \frac{M}{R^2},$$

здесь  $a$  – ускорение свободного падения на планете.

Приравняв выражения для  $a$  и  $g$ , находим

$$R = R_3 \sqrt{\frac{M}{M_3}} = R_3 \sqrt{6} = 2,45R_3 = 15,7 \cdot 10^6 \text{ м} = 15700 \text{ км}.$$

Таким образом, радиус планеты равен 15700 км.

5. Через 10 лет комета сделает ровно 3 оборота по своей орбите, а Земля – ровно 10. Значит, оба небесных тела окажутся почти в тех же точках пространства, а значит, такими же будут условия видимости кометы на Земле.
6. Невесомость на экваторе будет наблюдаться при  $a = g$ , где  $a$  – центростремительное ускорение точек на экваторе. Именно при таком ускорении тела на экваторе будут фактически находиться в состоянии свободного падения. Поскольку

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2},$$

$R$  – радиус Земли,  $T$  – продолжительность суток,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}.$$

То есть сутки следует укоротить в

$$n = \frac{T_0}{T} = \frac{T_0}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}} \text{ раз,}$$

$$T_0 = 24 \text{ ч.}$$

Подстановка дает  $T = 5080 \text{ с} = 1 \text{ ч } 25 \text{ мин}$  и  $n = 17$ .

«Побочные эффекты» будут ужасающие! Молекулы атмосферы, увлекаемые Землей, будут разгоняться, и даже при гораздо меньшем увеличении скорости вращения Земли значительная часть получит возможность преодолеть земное тяготение и улететь в окружающее космическое пространство. Земля начнет быстро терять атмосферу. При наступлении на экваторе невесомости этот процесс станет катастрофически быстрым – возникнут могучие воздушные потоки от полярных областей к экватору, а от экватора – в открытый космос.

# ПРИМЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО АСТРОНОМИИ

ВсОШ, муниципальный этап 2015/2016

## 10 класс

1. Скорость движения Земли вокруг своей оси на данной широте равна  $2\pi R \cos\varphi / T = 834$  км/ч. Движение поезда на запад фактически замедляет эту скорость до  $834$  км/час –  $60$  км/час =  $774$  км/ч. Долгота дня для неподвижного наблюдателя 21 марта равна 12 часам (если пренебречь рефракцией), а для пассажира она возрастет обратно пропорционально падению скорости вращения Земли и станет равной  $12,93ч = 12ч 56м$ .
2. Расстояние до Веги равно  $D = 1/0,12'' = 8,3$  парсека или  $1,7 \cdot 10^6$  а. е. Это расстояние в  $1,7 \cdot 10^6$  а.е. раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца (1 а. е). Солнце, находясь на таком расстоянии, выглядело бы слабее, чем с Земли в  $(D/1 \text{ а. е})^2 = (1,7 \cdot 10^6)^2 = 2,9 \cdot 10^{12}$  имело бы звездную величину  $26,8^m + 2,5 \cdot \lg(2,9 \cdot 10^{12}) = +4,4^m$ . Вега имеет видимую звездную величину  $0^m$ . Поскольку разность в 5 звездных величин означает различие по яркости в 100 раз, различие в 4,4 звездные величины означает, что Вега светит приблизительно в 58 раз ярче Солнца. Учитывая, что яркость звезды падает обратно пропорционально квадрату расстояния, получаем, что точка наблюдения находится на расстоянии  $0,97$  пк по направлению к Веге или  $1,26$  пк по направлению от Веги.
3. Кинетическая энергия снаряда зависит только от энергии заряда и соотношения масс пушки ( $M$ ) и снаряда ( $m$ ). Если масса пушки велика, то снаряд уносит с собой всю энергию выстрела ( $E$ ):  
 $M\vec{V} + m\vec{v} = 0$  – закон сохранения импульса.  $\frac{MV^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = E$  – закон сохранения энергии. откуда  $V^2 = 2E/(M + m)$ , поэтому скорость вылета снаряда не зависит от того, на каком небесном теле произведен выстрел. А вот дальность его полета – зависит. Пусть  $\alpha$  – угол наклона ствола пушки к горизонту. Тогда дальность полета  $L = \frac{2V_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}$ . Как видим, при одинаковых  $\alpha$  и  $v$  дальность полета обратно пропорциональна значению  $g$ . Например, на Луне та же пушка выстрелит в 6 раз дальше, чем на Земле (а с учетом сопротивления воздуха – еще дальше!).
4. Полная энергия, излучаемая Солнцем в секунду (светимость)  $L = 4 \cdot 10^{26}$  Вт. Излучение уносит массу (за одну секунду), равную:  $M = L/c^2 = 4,4 \cdot 10^9$  кг, где  $c$  – скорость света. Таким образом, за сутки Солнце теряет:  $60 \cdot 60 \text{ мин} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 4,4 \cdot 10^9 \text{ кг/с} = 3,8 \cdot 10^{14}$  кг, или  $3,8 \cdot 10^{14} \text{ кг} / 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \approx 10^{-16}$  часть своей массы.
5. Явление «большой» Луны объясняется совпадением нескольких факторов. Во-первых, видимое полушарие Луны должно быть полностью освещено Солнцем, т.е. Луна должна быть в фазе полнолуния. Во-вторых, нужно, чтобы Луна в момент полнолуния находилась в ближайшей к Земле точке своей орбиты – перигее. Кроме того, известно, что Луна, находящаяся низко над горизонтом и наблюдаемая на фоне земных предметов (домов, деревьев), кажется больше, чем когда она поднимется выше (оптическая иллюзия Понцо, названная так в честь Марио Понцо, попытавшегося объяснить ее в 1913 году). В действительности же угловые размеры Луны остаются одинаковыми (в этом можно убедиться, если на протяжении ночи смотреть на Луну на фоне монетки: соотношение размеров Луны и монетки будет одинаковым при любых положениях Луны). Так как указанное в задаче явление происходило, когда Луна была низко над горизонтом, то этот эффект также оказал влияние на восприятие ее размера. Теперь посчитаем, на сколько в действительности Луна была больше «обычной». За видимый угловой диаметр «обычной» Луны возьмем величину  $d_{\text{сп}} = 31'05''$  – угловой диаметр Луны на среднем расстоянии

от Земли  $R=384\,400$  км. Величину  $d_{cp}$  можно вспомнить или вычислить, вспомнив линейный

$$d_{cp} = \frac{206265'' \cdot D}{R} = 1865'' = 31'05''.$$

диаметр Луны  $D=3476$  км:

. Тогда угловой диаметр «большой» Луны был больше «обычной» Луны на  $33'33'' - 31'05'' = 2'28''$ . Так как считается, что разрешающая способность глаза составляет  $2'$ , то, казалось бы, различить невооруженным глазом увеличение размера Луны невозможно. Посчитаем, во сколько раз увеличилась видимая площадь Луны:

$$\frac{S}{S_{cp}} = \frac{d^2}{d_{cp}^2} = \frac{(33'33'')^2}{(31'05'')^2} = \frac{(2013'')^2}{(1865'')^2} = 1,17$$

раза, что тоже не так уж много. Поэтому значительную роль в «увеличении» Луны сыграл эффект Понцо, особенно во время ее восхода.

6. Казалось бы, под действием сопротивления воздуха скорость аппарата должна уменьшаться, как это происходит, например, с любым автомобилем, который катится по инерции. Но у спутника, в отличие от автомобиля, нет твердой опоры. Теряя энергию за счет сопротивления воздуха, он не может сохранить высоту полета и начинает приближаться к Земле. При этом за счет ее притяжения он разгоняется и увеличивает свою скорость. В космонавтике это явление называется аэродинамическим парадоксом.

# ПРИМЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО АСТРОНОМИИ

ВсОШ, муниципальный этап 2015/2016

## 11 класс

1. Расстояние от Земли до галактики БМО составляет 55 000 пк. Как известно, 1 пк = 3,26 св. лет. Поэтому свет от взрыва звезды достиг Земли примерно через 180 000 лет после того, как он произошел. Вычислять точно год взрыва не имеет смысла, поскольку точность, с которой дано расстояние до галактики БМО, не превышает 1 %.
2. Расстояние до Веги равно  $D = 1/0,12'' = 8,3$  парсека или  $1,7 \cdot 10^6$  а. е. Это расстояние в  $1,7 \cdot 10^6$  а.е. раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца (1 а. е). Солнце, находясь на таком расстоянии, выглядело бы слабее, чем с Земли в  $(D/1 \text{ а. е})^2 = (1,7 \cdot 10^6)^2 = 2,9 \cdot 10^{12}$  имело бы звездную величину  $26,8^m + 2,5 \cdot \lg(2,9 \cdot 10^{12}) = +4,4^m$ . Вега имеет видимую звездную величину  $0^m$ . Поскольку разность в 5 звездных величин означает различие по яркости в 100 раз, различие в 4,4 звездные величины означает, что Вега светит приблизительно в 58 раз ярче Солнца. Учитывая, что яркость звезды падает обратно пропорционально квадрату расстояния, получаем, что точка наблюдения находится на расстоянии 0,97 пк по направлению к Веге или 1,26 пк по направлению от Веги.
3. Конечно, с высоты  $\approx 12$  км над поверхностью Земли кратеры на Луне невооруженным глазом различить невозможно. В решении задачи учащиеся должны это обосновать, взяв необходимые данные из таблицы. Например, это можно сделать следующим образом. Так как Луна – в зените, то наблюдатель находится на прямой линии между Землей и Луной, поэтому расстояние между ним и Луной сократилось ровно на величину высоты полета самолета, т.е. на  $\approx 12$  км. Наименьшее удаление Луны от Земли составляет 363300 км (в перигее), наибольшее удаление Луны от Земли 405500 км (в апогее). Таким образом, расстояние от Земли до Луны в процессе ее движения по орбите изменяется на  $405500 - 363300 = 42200$  км, что значительно больше 12 км, при этом, как известно, с поверхности Земли кратеры на Луне невооруженным глазом все равно не видны.

*Примечание:* если школьники в решении укажут, что расстояния, приводимые в таблицах, – это расстояния между материальными точками – центрами масс небесных тел, а не между их поверхностями, то при правильном и полном обосновании ответа можно дополнительно добавить 1 балл к максимальной оценке задачи. Невооруженным глазом на лунном диске видны светлые и темные образования – так называемые материки и моря, лучевые системы кратеров Тихо, Аристарха, Кеплера и Коперника и некоторые горные системы. Ряд крупных кратеров с диаметром более 200 км, таких как Клавий или Шиккард, «теоретически» могут быть видны с поверхности Земли невооруженным глазом «на пределе зрения» (разрешающая способность глаза составляет около  $2'$ ), а так как условия для наблюдения Луны с борта самолета более благоприятны из-за менее плотной и более чистой и спокойной атмосферы, чем у поверхности, то человек с очень зорким зрением, при определенной фазе Луны, вероятно, сможет их различить. Если учащиеся дадут такой ответ с обоснованием, то его тоже можно засчитать как правильный. Как следует из условия предыдущей задачи, Луна во время полета самолета находилась в зените. Поэтому вначале определим, на каких широтах можно наблюдать Луну в зените. Высота Луны в зените равна  $h=90^\circ$ . Через точку зенита проходит небесный меридиан, следовательно, светило в зените может находиться только в момент верхней кульминации. Высота светила в верхней кульминации определяется как  $h=90^\circ - \varphi + \delta$ . Отсюда  $\varphi = 90^\circ - h + \delta = 90^\circ - 90^\circ + \delta = \delta$ . Так как Луна перемещается по небесной сфере вдоль эклиптики, отклоняясь от нее на  $\pm 5^\circ 09'$ , а эклиптика пересекается с небесным экватором под углом  $23^\circ 27'$ , то склонение Луны может изменяться в пределах  $\delta = \pm(23^\circ 27' + 5^\circ 09') = \pm 28^\circ 36'$ .

Следовательно, диапазон широт, на которых Луна может наблюдаться в зените,  $\varphi = \delta = \pm 28^{\circ}36'$ , т.е. от  $28^{\circ}36'$  с.ш. до  $28^{\circ}36'$  ю.ш. Таким образом, самолет не мог лететь над территорией России.

4. Вспомним, что видимый диаметр Солнца примерно равен  $30'$ , а температура его поверхности –  $6000$  К. Таким образом, изменение блеска за счет изменения площади будет  $S_C/S_{\Pi} = (15'/0,5')^2 = 900$  раз, а изменение блеска за счет температуры пропорционально 4 степени, т.е.  $(T_C/T_{\Pi})^4 = (6000/4500)^4 = 3$  раза. Всего блеск уменьшится в  $900 \cdot 3 = 2700$  раз. Чтобы сравнить с блеском других небесных тел, надо эту величину перевести в звездные величины. Изменение звездной величины будет равно  $2,5 \cdot \lg(2700) = 8,6$ . Звездная величина Солнца –  $26,8^m$ , таким образом, блеск пятна будет равен  $-18,2^m$ . Это более чем в 100 раз ярче полной Луны. Блеск Луны равен  $-12,7^m$ , блеск Венеры  $-4^m$ , Сатурна  $-1^m$ , Полярной звезды  $2^m$ .
5. Абсолютная звездная величина  $M$  связана с видимой звездной величиной  $m$  и расстоянием в парсеках до звезды  $r$  следующим соотношением:  $M = m + 5 - 5 \lg r$ . Таким образом,  $M = -18,7^m$  без учета поглощения излучения межзвездной пылью. Так как созвездие Овна находится в стороне от Млечного Пути – диска Галактики, в котором сосредоточены газопылевые облака, то поглощением света можно пренебречь. Определим различие в светимостях сверхновой звездой и Солнца, зная абсолютную звездную величину Солнца  $M_C = +4,8^m$ :  $L/L_C = 2,512^{(M_C - M)} = 2,5 \cdot 10^9$  раз, т.е. одна сверхновая звезда светила как 2,5 миллиарда звезд, подобных нашему Солнцу!
6. Явление «большой» Луны объясняется совпадением нескольких факторов. Во-первых, видимое полушарие Луны должно быть полностью освещено Солнцем, т.е. Луна должна быть в фазе полнолуния. Во-вторых, нужно, чтобы Луна в момент полнолуния находилась в ближайшей к Земле точке своей орбиты – перигее. Кроме того, известно, что Луна, находящаяся низко над горизонтом и наблюдаемая на фоне земных предметов (домов, деревьев), кажется больше, чем когда она поднимется выше (оптическая иллюзия Понцо, названная так в честь Марио Понцо, попытавшегося объяснить ее в 1913 году). В действительности же угловые размеры Луны остаются одинаковыми (в этом можно убедиться, если на протяжении ночи смотреть на Луну на фоне монетки: соотношение размеров Луны и монетки будет одинаковым при любых положениях Луны). Так как указанное в задаче явление происходило, когда Луна была низко над горизонтом, то этот эффект также оказал влияние на восприятие ее размера. Теперь посчитаем, на сколько в действительности Луна была больше «обычной». За видимый угловой диаметр «обычной» Луны возьмем величину  $d_{cp} = 31'05''$  – угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли  $R = 384\,400$  км. Величину  $d_{cp}$  можно вспомнить или вычислить, вспомнив линейный диаметр

$$d_{cp} = \frac{206265'' \cdot D}{R} = 1865'' = 31'05''.$$

Луны  $D = 3476$  км: . Тогда угловой диаметр «большой» Луны был больше «обычной» Луны на  $33'33'' - 31'05'' = 2'28''$ . Так как считается, что разрешающая способность глаза составляет  $2'$ , то, казалось бы, различить невооруженным глазом увеличение размера Луны невозможно. Посчитаем, во сколько раз увеличилась видимая

$$\frac{S}{S_{cp}} = \frac{d^2}{d_{cp}^2} = \frac{(33'33'')^2}{(31'05'')^2} = \frac{(2013'')^2}{(1865'')^2} = 1,17$$

площадь Луны: раза, что тоже не так уж много. Поэтому значительную роль в «увеличении» Луны сыграл эффект Понцо, особенно во время ее восхода.