Муниципальный этап XXVII Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Московской области

Лист справочных данных

Физические характеристики Солнца и планет

Объект	Масса, кг	Масса, Массы Земли	Радиус, км	Радиус, Радиусы Земли	Плотность, $\frac{г}{см^3}$	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты, Градусы	Геометрическое альбедо	Вид. Звездная величина *
Солнце	$1.99 \cdot 10^{30}$	332946	697000	109.3	1.41	25.380 сут	75.2	–	−26.8
Меркурий	$3.30 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.1	−0.1
Венера	$4.87 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут **	177.36	0.65	−4.4
Земля	$5.97 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 часа	23.45	0.37	–
Марс	$6.42 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 часа	25.19	0.15	−2.0
Церера	$9.39 \cdot 10^{20}$	0.00016	463	0.0726	2.16	9.074 часа	3.00	0.09	6.8
Юпитер	$1.90 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 часа	3.13	0.52	−2.7
Сатурн	$5.68 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 часа	25.33	0.47	0.4
Уран	$8.68 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 часа **	97.86	0.51	5.7
Нептун	$1.02 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 часа	28.31	0.41	7.8
Плутон	$1.30 \cdot 10^{22}$	0.00218	1183.1	0.1855	1.86	6.387 сут **	119.6	0.60	13.8

Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось, млн. км	Большая полуось, а.е.	Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики, градусы	Период обращения	Синодический период, сут
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Церера	413.8	2.7653	0.0793	10.585	4.6 лет	466.7
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	165.79 лет	367.5
Плутон	5906.2	39.4821	0.2488	17.14	247.92 лет	366.7

Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная	$G = 6.672 \cdot 10^{-11}\ \frac{м^3}{кг \cdot с^2}$
Скорость света в вакууме	$c = 2.998 \cdot 10^8$ м/с
Астрономическая единица	$1\ а.е. = 1.496 \cdot 10^{11}$ м
Парсек	$1\ пк = 3.086 \cdot 10^{16}$ м
Постоянная Хаббла	$H = 68 \frac{км}{с \cdot Мпк}$

Муниципальный этап XXVII Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Московской области

11 класс

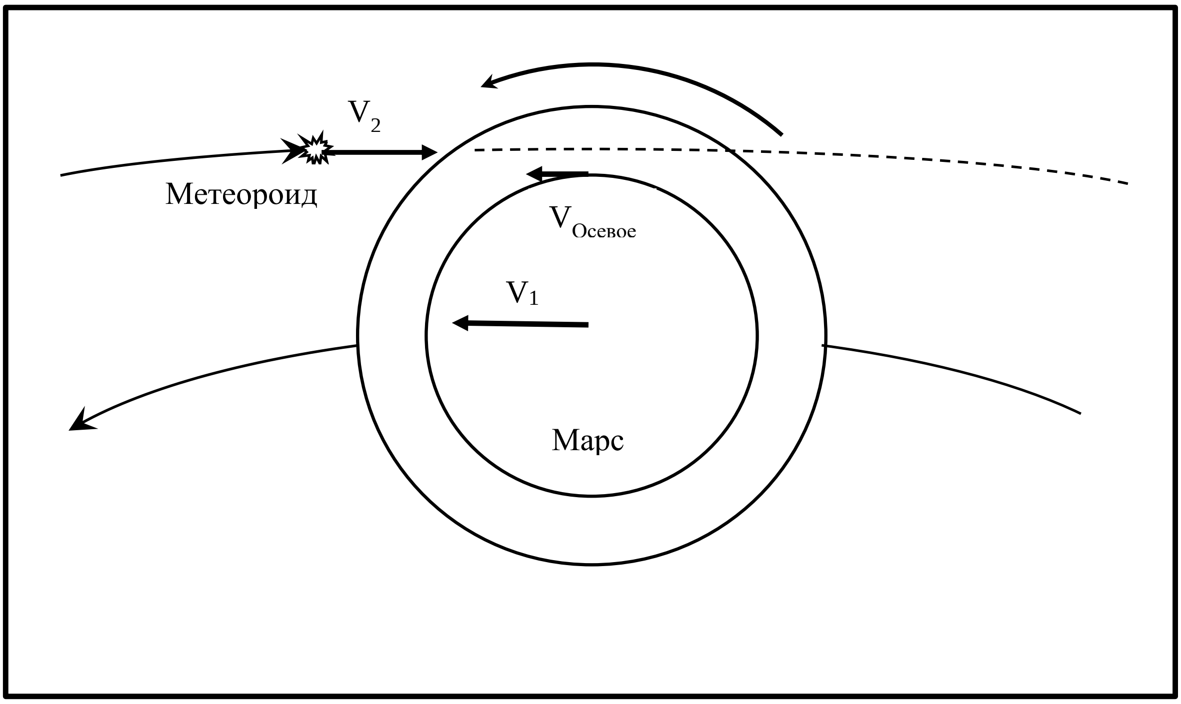
Задача №1. Определите максимально возможную скорость столкновения метеороида принадлежащего Солнечной системе с Марсом? В какое время суток — это может произойти? Радиус Марса составляет половину радиуса Земли, а сутки длятся на 30 минут больше, чем на Земле. Орбиту Марса считать круговой. Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$кг.

Решение. Представим, что метеороид висит неподвижно относительно Солнца и на него налетает планета Марс. Тогда скорость входа его в атмосферу Марса будет равна скорости движения Марса по орбите вокруг Солнца. Но такая скорость очевидно не является максимальной.

Метеороид так же должен двигаться вокруг Солнца. Он может вращаться по круговой орбите и наибольшую скорость будет иметь, если будет двигаться навстречу Марсу. А скорость его будет равна скорости Марса, чтобы он находился на орбите вокруг Солнца, и равна первой космической для Солнца на данном расстоянии от него. Т.е. равна удвоенной скорости Марса. Но и такая сокрость не будет максимальной.

Метеороид, летящий навстречу может иметь скорость больше круговой. Максимальная его скорость может быть близкой ко второй космической для расстояния Марса для Солнца.

И последний маленький этап, если мы на Марсе находимся, то вращаемся вокруг оси Марса и скорость осевого вращения так же может быть прибавлена, если наша точка наблюдения находится с противоположной от Солнца стороны, когда вектор осевой скорости направлен в сторону движения



Марса по орбите. Максимальная такая скорость будет на экваторе планеты в местную полночь и до восхода Солнца, такие метеороиды будут наблюдаться в пункте наблюдения.

Для решения необходимо посчитать первую и вторую космическую скорости для Солнца на расстоянии Марса и скорость его осевого вращения на экваторе:

$$V_I = \sqrt{\frac{GM_{\text{Солнца}}}{a_{\text{Марса}}}} = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{1.52 \cdot 1.5 \cdot 10^{11}}} \approx 24.2 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$$

$$V_{II} = \sqrt{\frac{2GM_{\text{Солнца}}}{a_{\text{Марса}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{1.52 \cdot 1.5 \cdot 10^{11}}} \approx 34.2 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$$

$$V_{\text{вращения}} = \frac{2\pi R_{\text{Марса}}}{P_{\text{Марса}}} = \frac{2\pi \cdot 3200}{24.5 \cdot 3600} \approx 0.23 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$$

Итоговая скорость метероида при входе в атмосферу Марса будет:

$$V_{\text{Метеороида в атмосфере}} = V_I + V_{II} + V_{\text{Вращения}} = 24.2 + 34.2 + 0.23 \approx 58.6 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$$

Высчитывать увеличение скорости за счет того, что тело ускоряется в поле тяжести Марса не обязательно. Его нахождение не поощряется, но и не наказывается.

Ответ Максимальная скорость метеороида будет: $V_{\text{Метеороида в атмосфере}} = 58.6 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$. Наблюдаться такие метеороиды будут с полуночи и до утра.

Разбалловка. Корректное описание модели: метеороид летит навстречу Марсу по почти параболической траектории и учет линейной скорости вращения Марса – до 2 баллов (Модель, в которой тело летит навстречу Марсу, со скоростью вращения Марса вокруг Солнца с учетом линейной скорости вращения Марса – 1 балл, без линейной скорости вращения Марса – 1 балл)

Корректный расчёт скорости вращения Марса вокруг Солнца – 1 балл

Корректный расчет второй космической скорости на орбите Марса для объекта, вращающегося вокруг Солнца – 1 балл

Расчет линейной скорости вращения Марса на экваторе – 1 балл

Корректный расчет скорости попадания метеороида в атмосферу Марса в рамках модели ученика – 1 балл.

Запись итогового ответа $58.6 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ (допустимая ошибка ±4 км/сек) – 1 балл. В случае неправильной модели явления этот балл не выставляется.

Правильное определение времени суток от полуночи до утра – 1 балл

Итого за задачу 8 баллов

Задача №2. Ученые обнаружили галактику очень похожую на Млечный путь ($M=-20^m$), по измерениям ее красное смещение составило z = 0.1. Определите, какова будет ее звездная величина и можно ли ее увидеть невооруженным глазом, если постоянная Хаббла составляет $68 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}}$? Межгалактическое поглощение не учитывать.

Решение. Определим расстояние до галактики используя эффект Доплера и закон Хаббла-Леметра;

$$z = \frac{V_r}{c} \Longrightarrow V_r = cz \qquad V_r = HR \Rightarrow cz = HR \Longrightarrow R = \frac{cz}{H} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 0.1}{68} \approx 441 \text{ Мпк}$$

Определим звездную величину галактики:

$$E \sim \frac{1}{R^2} \Rightarrow \frac{E_{10\text{ пк}}}{E_{R\text{ Мпк}}} = \frac{\frac{L_{\text{MW}}}{10^2}}{\frac{L_{\text{MW}}}{(4.41 \cdot 10^6)^2}} = 10^{-0.4(M_{MW} - m_{\text{mw}})} \Rightarrow 1.94 \cdot 10^{11} = 10^{-0.4(M_{MW} - m_{\text{mw}})}$$

$$\Rightarrow \lg(1.94 \cdot 10^{11}) = -0.4(M_{MW} - m_{\text{mw}}) \Rightarrow -2.5 \cdot \lg(1.94 \cdot 10^{11}) = M_{MW} - m_{\text{mw}}$$

$$\Longrightarrow m_{\text{mw}} = M_{MW} + 2.5 \cdot \lg(1.94 \cdot 10^{11}) = -20^m + 28.2^m = 8.2^m$$

Предельная звездная величина видимая глазом составляет $m_{\text{глаза}} = 6.5^m$, следовательно галактика будет не видна.

Ответ Видимая яркость галактики составит $m_{\text{mw}} = 8.2^m$, следовательно невооруженным глазом она видна не будет

Разбалловка. Использование и понимание эффекта Доплера для верного определения скорости убегания – до 2 баллов

Использование и понимание закона Хаббла-Леметра для верного нахождения расстояния до галактики – до 2 баллов

Наличие и верное использование основного закона фотометрии – $E \sim \frac{1}{R^2}$, либо использование формулы для абсолютной звездной величины $M = m + 5 - 5lgR$ и производных от нее - 1 балл

Правильный итоговый подсчет через формулу Погсона с выводом о том, что невооруженным глазом галактика видна не будет- до 2 баллов

Запись итогового ответа без ошибок – 1 балл

Итого за задачу 8 баллов

Задача №3. Абсолютные звездные величины компонент Альфы Центавры A и B составляют 4.38^m и 5.71^m соответственно. Чему равна звездная величина этой двойной системы при наблюдении с 1 кпк? Межзвездное поглощение не учитывать.

Решение. Определим суммарную абсолютную звездную величину системы:

$$\frac{E_\Sigma}{E_A} = 10^{0.4(M_A - M_\Sigma)} \quad \frac{E_\Sigma}{E_A} = \frac{E_A + E_B}{E_A} = 1 + \frac{E_B}{E_A} = 1 + 10^{0.4(M_A - M_B)} = 10^{0.4(M_A - M_\Sigma)} \Rightarrow 1 + 10^{0.4(M_A - M_B)} = 10^{0.4(M_A - M_\Sigma)}$$

Возьмём логарифм от обеих частей уравнения

$$1 + 10^{0.4(M_A - M_B)} = 10^{0.4(M_A - M_\Sigma)} \Rightarrow lg\left(1 + 10^{0.4(M_A - M_B)}\right) = lg\left(10^{0.4(M_A - M_\Sigma)}\right) \Rightarrow 0.4(M_A - M_\Sigma) = lg\left(1 + 10^{0.4(M_A - M_B)}\right) \Rightarrow M_A - M_\Sigma = 2.5 \cdot lg\left(1 + 10^{0.4(M_A - M_B)}\right) \Rightarrow M_\Sigma = M_A - 2.5 \cdot lg\left(1 + 10^{0.4(M_A - M_B)}\right) = 4.38^m - 2.5 \cdot lg\left(1 + 10^{0.4(4.38 - 5.71)}\right) \approx 4.1^m$$

Теперь учтем то, что расстояние до системы 1кпк = 1000 пк, а абсолютная звездная величина по определению звездная величина источника с 10 пк. Это значит, что звезды удаляются в 100 раз. Их свет ослабнет в 10000 раз. Т.е. источник ослабнет на 10^m . Проверим выводом и вычислениями:

$$E \sim \frac{1}{R^2} \Rightarrow \frac{E_{10\text{ пк}}}{E_{1\text{ кпк}}} = \frac{\frac{L_\Sigma}{10^2}}{\frac{L_\Sigma}{1000^2}} = 10^{0.4(M_{1\text{ кпк}} - M_\Sigma)} \Rightarrow 10^4 = 10^{0.4(M_{1\text{ кпк}} - M_\Sigma)} \Rightarrow 4 = 0.4(M_{1\text{ кпк}} - M_\Sigma) \Rightarrow 10^m = M_{1\text{ кпк}} - M_\Sigma \Rightarrow M_{1\text{ кпк}} = M_\Sigma + 10^m = 14.1^m$$

Ответ: $M_{1\text{ кпк}} = 14.1^m$

Разбалловка Использование и знание того факта, что расстояние для абсолютной звездной величины 10 пк – 1 балл

Наличие формулы Погсона и верное ее использование для подсчета суммарной звездной величины – до 2 баллов

Наличие и верное использование основного закона фотометрии – $E \sim \frac{1}{R^2}$, либо использование формулы для абсолютной звездной величины $M = m + 5 - 5lgR$ и производных от нее - до 2 баллов

Муниципальный этап XXVII Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Московской области

Правильный итоговый подсчет через формулу Погсона или через определение звездной величины-100 раз - 5^m, 40 раз - 4^m, 16 раз – 3^m, 6.25 – 2^m и 2,512 – 1^m величины ослабления - до 2 баллов

Запись итогового ответа без ошибок – 1 балл

Итого за задачу 8 баллов

Задача №4. На некоторой планете сферической формы длина экватора и тропика относятся также, как и длины тропика и полярного круга. Определите максимально возможную высоту над горизонтом одиночной центральной звезды на полярном круге этой планеты в дни солнцестояний. Угловыми размерами центральной звезды и рефракцией пренебречь.

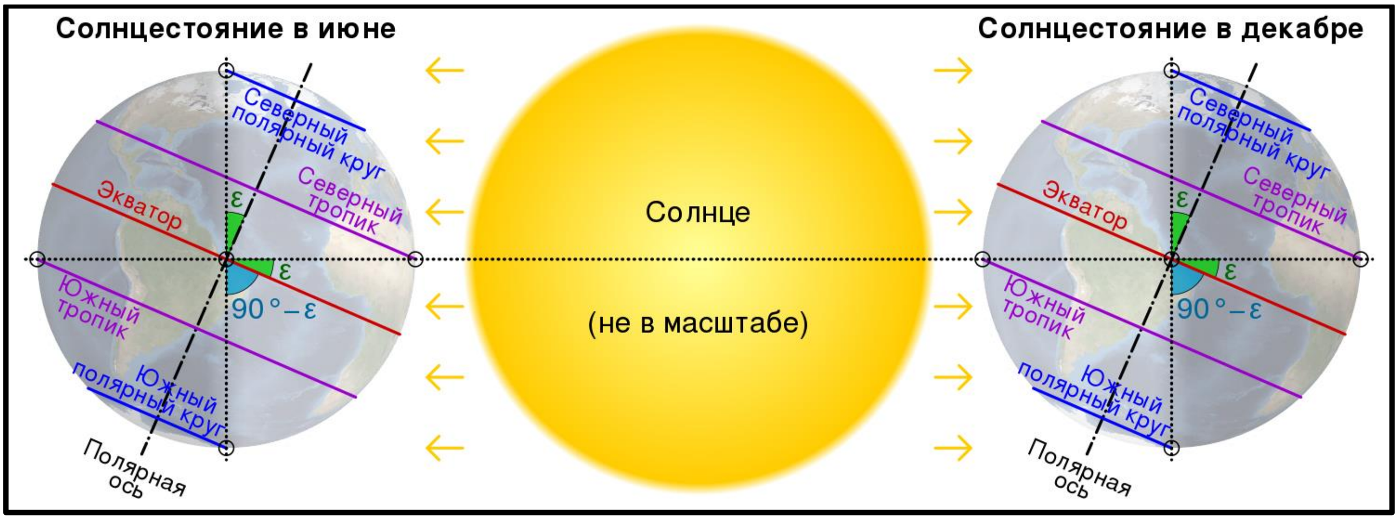
Решение. Взглянув на глобус любой планеты, например, Земли, мы увидим, что длины кругов широт- параллелей разные и зависят от широты. Максимальной будет длина экватора и с увеличением модуля широты она будет уменьшаться. Длинны параллелей на планете зависят от широты места. Выразим это в виде выражения:

$$L_\varphi = 2\pi R_{\text{планеты}} \cos\varphi$$

Далее вспомним, что широта полярного круга и тропика, зависят только от угла между плоскостями экватора планеты и плоскостью ее орбиты – ε:

$$\varphi_{\text{Тропика}} = \varepsilon\,, \varphi_{\text{Полярного круга}} = 90^{\circ} - \varepsilon$$

Вот как это происходит на Земле



По условию задачи длина экватора и тропика относятся также, как и длины тропика и полярного круга. Решение в общем виде получается через отношение длин тропика и полярного круга на планете:

$\frac{L_{\text{экватора}}}{L_{\text{тропика}}} = \frac{L_{\text{тропика}}}{L_{\text{полярного круга}}} \Rightarrow \frac{2\pi R_{\text{планеты}} \cos 0^{\circ}}{2\pi R_{\text{планеты}} \cos\varepsilon} = \frac{2\pi R_{\text{планеты}} \cos\varepsilon}{2\pi R_{\text{планеты}} \cos(90^{\circ} - \varepsilon)} \Rightarrow \frac{1}{\cos\varepsilon} = \frac{\cos\varepsilon}{\sin\varepsilon} \Rightarrow cos^2\varepsilon = \sin\varepsilon \Rightarrow sin^2\varepsilon + \sin\varepsilon - 1 = 0$ Проведем следующую замену и решим получившееся квадратное уравнение:

$$\sin\varepsilon = x \Rightarrow x^2 + x - 1 = 0 \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -1.62 \\ x_2 = 0.62 \end{cases}$$

Из решения подходит только положительный корень, после этого вычислим угол, соответствующий найденному корню:

$$\sin\varepsilon = x_2 \Rightarrow \varepsilon = \arcsin(x_2) = \arcsin(0.62) \approx 38.3^{\circ}$$

Рассчитаем максимальную высоту местного светила на широте полярного круга в дни солнцестояний. В день летнего солнцестояния в момент верхней кульминации будет равно:

$$h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - \varphi_{\text{Полярного круга}} + \delta_\odot \quad = 90^\circ - 90^\circ + \varepsilon + \varepsilon = 2\varepsilon = 76.6^\circ$$

В день зимнего солнцестояния в момент верхней кульминации будет равно:

$$h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - \varphi_{\text{Полярного круга}} + \delta_\odot \quad = 90^\circ - 90^\circ + \varepsilon - \varepsilon = 0^\circ$$

Ответ: максимальная высота на полярном круге будет в день летнего солнцестояния (в зависимости от полушария) и будет равна $h_{\text{в.к.}} = 76.6^\circ$ и зимнего $h_{\text{в.к.}} = 0^\circ$

Разбалловка. Указание того, что длина параллели зависит от широты – 1 балл

Указание того, что длина уменьшается от экватора к полюсам – 1 балл

Вывод квадратного уравнения из связи длин кругов из условия задачи – 1 балл

Решение этого уравнения и выбор правильного положительного корня – 1 балл

Правильное астрономическое определение тропика и полярного круга – 1 балл

Расчет угла между плоскостями экватора и эклиптики - $\varepsilon = 38.3^\circ$ - 1 балл

Обоснование и правильная формула высоты светила в день летнего и зимнего солнцестояний расчёт, и запись итогового ответа – 2 балла

Итого за задачу 8 баллов

Задача №5. Синодический период небесного тела при наблюдении с Марса составляет 800 дней определите большую полуось его орбиты и период его обращения вокруг Солнца. Может ли объект пересекать орбиты Земли и Марса? Период обращения Марса вокруг Солнца составляет 1.88 года.

Решение. Для решения данной задачи необходимо вспомнить формулу синодического периода:

$$\frac{1}{S_\Pi} = \frac{1}{T_\Pi} - \frac{1}{T_{\text{Марса}}} \text{ для внутренних планет и } \frac{1}{S_\Pi} = \frac{1}{T_{\text{Марса}}} - \frac{1}{T_\Pi} \text{ для внешних}$$

Отсюда получаем выражение для периода планеты:

$$\frac{1}{T_\Pi} = \frac{1}{S_\Pi} + \frac{1}{T_{\text{Марса}}} \Rightarrow T_\Pi = \frac{S_\Pi T_{\text{Марса}}}{S_\Pi + T_{\text{Марса}}} = \frac{800 \cdot 1.88 \cdot 365.25}{800 + 1.88 \cdot 365.25}$$
$$\approx 369.5 \text{ дней для внутренней планеты при наблюдении с Марса}$$

$$\frac{1}{T_\Pi} = \frac{1}{T_{\text{Марса}}} - \frac{1}{S_\Pi} \Rightarrow T_\Pi = \frac{S_\Pi T_{\text{Марса}}}{S_\Pi - T_{\text{Марса}}} = \frac{800 \cdot 1.88 \cdot 365.25}{800 - 1.88 \cdot 365.25} \approx 4847 \text{ дней}$$
$$\approx 13.2 \text{ года для внешней планеты при наблюдении с Марса}$$

Определим по 3-му закону Кеплера большие полуоси орбит небесных тел:

$$\frac{T_\Pi^2}{T_{\text{Марса}}^2} = \frac{a_\Pi^3}{a_{\text{Марса}}^3} \Rightarrow a_\Pi = a_\oplus \left(\frac{T_\Pi}{T_{\text{Марса}}}\right)^{2/3}$$
$$\Rightarrow \begin{cases} a_1 = a_{\text{Марса}} \left(\frac{T_\Pi}{T_{\text{Марса}}}\right)^{2/3} = 1.52 \cdot \left(\frac{369.5}{1.88 \cdot 365.25}\right)^{2/3} \approx 1.01 \text{ а. е.} \\ a_2 = a_{\text{Марса}} \left(\frac{T_\Pi}{T_{\text{Марса}}}\right)^{2/3} = 1.52 \cdot \left(\frac{13.2}{1.88}\right)^{2/3} \approx 5.6 \text{ а. е.} \end{cases}$$

Поскольку форма орбиты может быть любой эллиптической, то в случае очень вытянутого эллипса:

$$Q = a(1+e) \xrightarrow[e \to 1]{} Q \approx 2a \Rightarrow \begin{cases} Q_1 = 2a_1 \approx 2.02 \text{ а. е.} \\ Q_2 = 2a_2 \approx 11.2 \text{ а. е.} \end{cases}$$

То есть оба небесных тела могут пересекать орбиту Земли. Возможно также определить граничный эксцентриситет, с которого небесное тело начнет пересекать орбиту Земли и Марса. Для первого тела - это будет при приближении к афелию, для второго к перигелию орбиты.

$$Q_1 > 1.52\ \text{а. е.} \Rightarrow a_1(1 + e_1) > 1.52 \Rightarrow e_1 > \frac{1.52 - a_1}{a_1} \Rightarrow e_1 > \frac{1.52 - 1.01}{1.01} \Rightarrow e_1 > 0.5$$

$$q_2 < 1\ \text{а. е.} \Rightarrow a_2(1 - e_2) < 1 \Rightarrow e_2 > \frac{a_2 - 1}{a_1} \Rightarrow e_2 > \frac{5.6 - 1}{5.6} \Rightarrow e_2 > 0.82$$

Ответ: Таких тела может быть два с большой полуосью меньше большой полуоси орбиты Марса $a_1 = 1.01$ а. е. и периодом обращения $T_1 \approx 369.5$ день, и большей земной $a_2 = 5.6$ а. е и периодом обращения $T_2 \approx 13.2$ лет. Пересекать орбиту Земли и Марса могут оба этих тела в случае, если их орбиты представляют эллипсы со следующими эксцентриситетами: для тела с большой полуосью орбиты меньше земной $e_1 > 0.5$, и для тела с большой полуосью орбиты больше земной $e_2 > 0.82$

Разбалловка. Использование формулы синодического периода для Марса – 1 балл

Правильный расчет значений сидерического периода для планет, с учетом положения Марса – 2 балла

Корректное использование 3 закона Кеплера и расчет значения большой полуоси – 2 балла

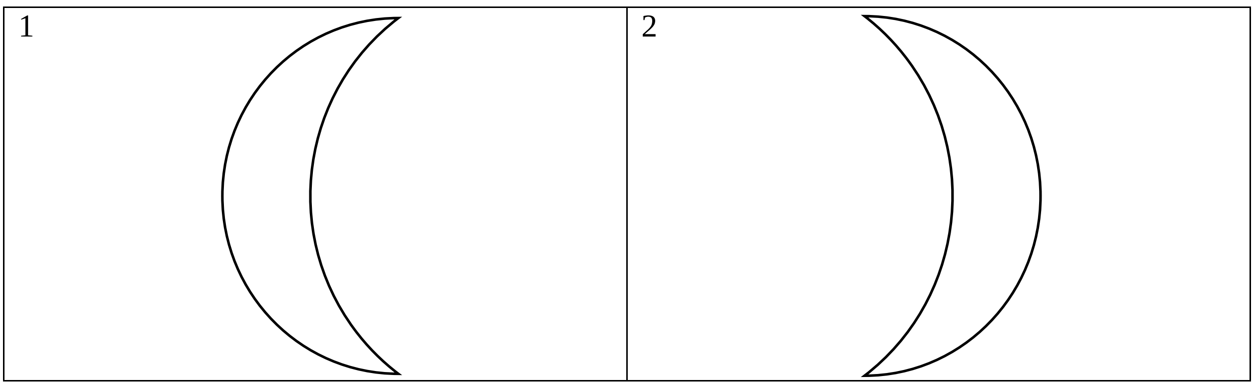
Запись итогового ответа - с большой полуосью меньше марсианской $a_1 = 0.65$ а. е., и большей марсианского $a_2 = 5.1$ а. е – 2 балла

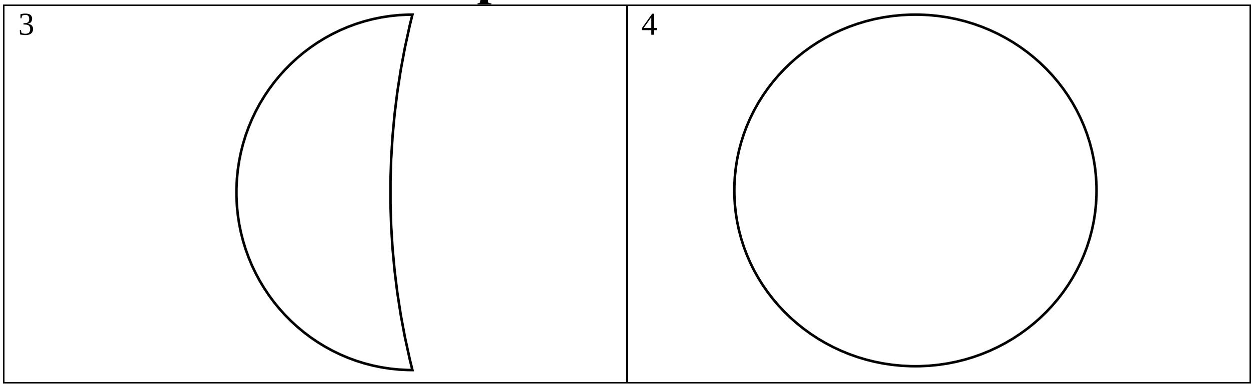
Вывод о пересечении орбиты Земли и Марса обоими небесными телами. Для этого вывода необходимо обоснование. Достаточно сказать, что эллиптическая орбита может быть вытянутой и будет пересекать орбиты Земли и Марса (расчет эксцентриситета необходимого для этого не обязателен!) – 1 балл.

В случае, если рассматривается только внешняя или внутренняя планета, то за итоговый ответ ставится 1 балл, если он верен и за правильный расчет сидерического периода выставляется так же 1 балл из 2, если он верен. За использование 3-го закона Кеплера также 1 балл из 2. Т.е. Задача оценивается из 5 баллов.

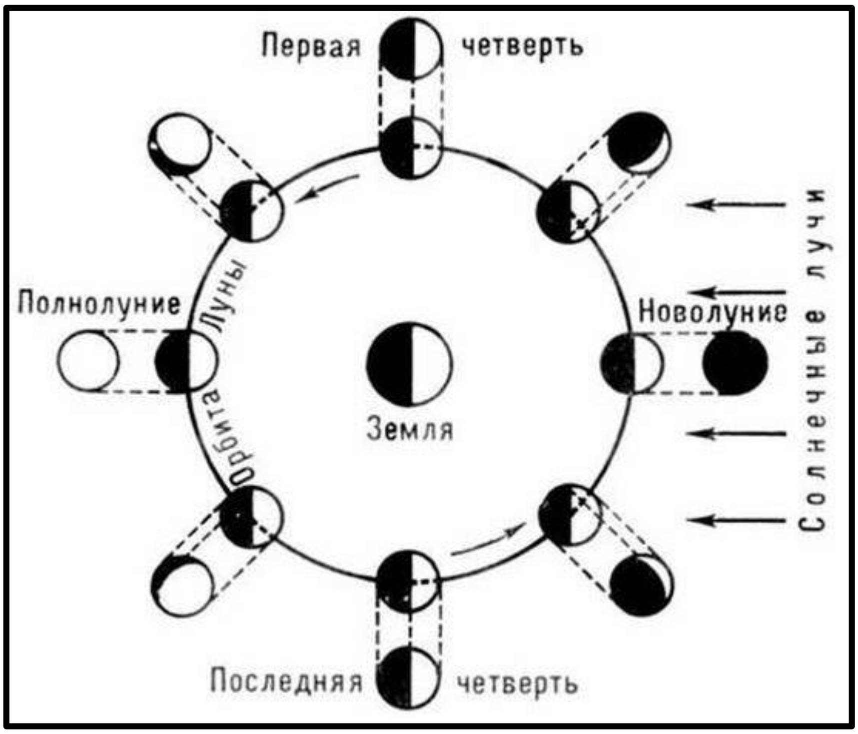
Итого за задачу 8 баллов

Задача №6. Перед вами 4 схематических изображений фаз Луны. Направление на север на каждом изображении сверху. Какие из них можно наблюдать сразу после захода Солнца, а какие нельзя? И почему? Определите значение фазы Луны для каждой картинки. Решение сопроводите поясняющими рисунками или схемами.



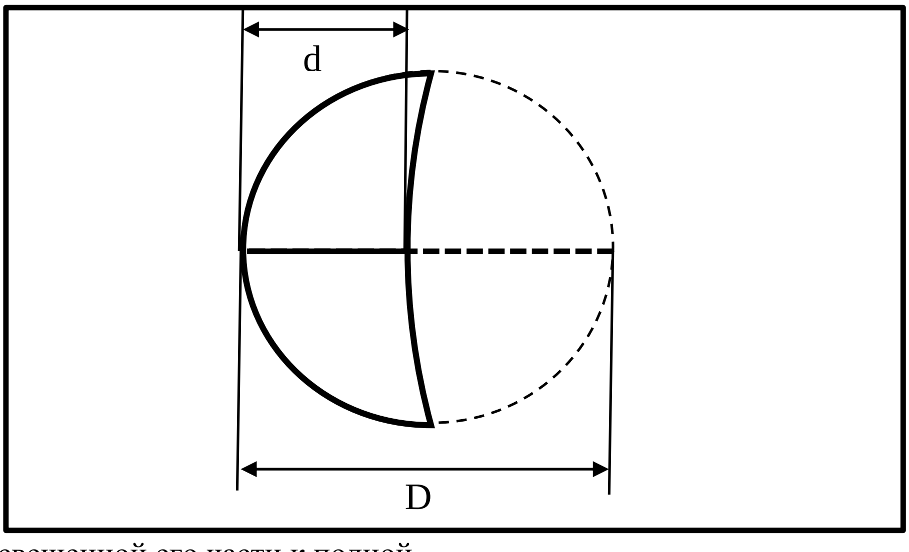


Решение. Для решения данной задачи необходимо знание причин возникновения фаз Луны, которое



можно объяснить следующим рисунком или схемой.

А так же, вспомнить определение геометрической фазы: что это отношение по направлению диаметра



видимого диска освещенной его части к полной.

Разберем последовательно все ситуации, фазу измерим при помощи линейки и циркуля, определив при помощи линейки центр окружности Луны, дочертив ее не освещенную Солнцем часть. И измерив необходимые отрезки линейкой. Ф=d/D, где d – размер освещенной части по экватору. D – размер всей Луны.

Муниципальный этап XXVII Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в Московской области

Рисунок №1 – это стареющая Луна. Расположена к западу от Солнца не небе. Так как направление на Солнце и на Луну меньше прямого угла, Луна расположена ближе к Солнцу в сторону движения Земли по орбите и видна перед восходом Солнца, а значит не могла быть видимой сразу после захода Солнца. $\Phi_1 = \frac{d_{\text{освещенной}}}{D_{\text{полный}}} = \frac{12\text{ мм}}{48\text{мм}} = 0.25$

Рисунок №2 – это растущая Луна. Расположена к востоку от Солнца. Так как направление на Солнце и на Луну меньше прямого угла, Луна расположена ближе к Солнцу в сторону против движения Земли по орбите и видна после захода Солнца, а значит могла быть видимой сразу после захода Солнца. $\Phi_2 = \frac{d_{\text{освещенной}}}{D_{\text{полный}}} = \frac{12\text{ мм}}{48\text{мм}} = 0.25$

Рисунок №3 – Это стареющая Луна сразу после последней четверти. Луна расположена почти на орбите Земли по отношению к солнцу и угол между направлением на Солнце и Луну чуть меньше прямого. Такая Луна восходит сразу после истинной полночи. Следовательно, такая ситуация невозможна сразу после захода Солнца. $\Phi_3 = \frac{d_{\text{освещенной}}}{D_{\text{полный}}} = \frac{22\text{ мм}}{48\text{мм}} = 0.46$

Рисунок №4 – Это Луна в фазе полнолуния на небе она противоположна Солнцу. Следовательно, восходит одновременно с заходом Солнца. А значит, будет видна низко над горизонтом сразу после захода Солнца. $\Phi_4 = \frac{d_{\text{освещенной}}}{D_{\text{полный}}} = \frac{48\text{ мм}}{48\text{мм}} = 1$

Ответ: Следовательно, могут наблюдаться сразу после захода Солнца рисунки №2 и №4, и не могут №1 и №3. $\Phi_1 = \Phi_2 = 0.25$, $\Phi_3 = 0.46$, $\Phi_4 = 1$

Альтернативное решение:

Солнце на западе. Луна светит отраженным солнечным светом, поэтому освещенная сторона Луны всегда повернута к Солнцу отсюда рисунки №1 и №3 не подходят, так как тогда Луна должна находится с другой стороны от Солнца и уже зашла бы за горизонт. Рисунок №2 подойдет, Солнце и Луна могут быть в таком положении. Рисунок № 4 так же подойдет, так как точка запада противоположна точка восхода, следовательно, если Солнце заходит, то Луна в полнолунии на востоке в этот момент восходит.

Ответ: следовательно, могут наблюдаться сразу после захода Солнца рисунки №2 и №4, и не могут №1 и №3.

Расчет фаз производится независимо от определения возможных ситуаций.

Разбалловка.

Название фаз Луны и пояснения к ним текстовые или в виде рисунка (схемы) положения Луны – 2 балла

Правильное указание возможных ситуаций – рисунки №2 и №4 – по 1 баллу, итого 2 балла

Объяснение почему рисунки №1 и №3 не могут наблюдаться – по 1 баллу итого 2 балла

Правильное определение значений фаз на рисунках – до 2 баллов. (0 баллов, если указано значение 1 фазы или все значения не верны, 1 балл если правильно указано значение 2 или 3 фаз, 2 балла, если – 4-х фаз)

Итого за задачу 8 баллов