

**Муниципальный этап
всероссийской олимпиады школьников по астрономии
2021-2022 учебный год**

**Критерии оценивания
11 класс**

Ниже представлена примерная схема оценивания решений по традиционной 8-балльной системе:
0 баллов — решение отсутствует, абсолютно некорректно, или в нем допущена грубая астрономическая или физическая ошибка;

1 балл — правильно угадан бинарный ответ («да-нет») без обоснования;

1–2 балла — попытка решения не принесла существенных продвижений, однако приведены содержательные астрономические или физические соображения, которые можно использовать при решении данного задания;

2–3 балла — правильно угадан сложный ответ без обоснования или с неверным обоснованием;

3–6 баллов — задание частично решено;

5–7 баллов — задание решено полностью с некоторыми недочетами;

8 баллов — задание решено полностью.

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

1. 29 октября 2021 года планета Венера находится в восточной элонгации и имеет блеск $-4,5^m$. Используя подвижную карту звёздного неба, определите:

1) в какое время суток 29 октября Венеру можно наблюдать? Оцените условия её видимости.

2) в каком созвездии находится Венера?

3) какие ещё яркие планеты и в каких созвездиях можно наблюдать одновременно с Венерой? (воспользуйтесь эфемеридами планет).

Эфемериды ярких планет на 29 октября 2021 года		
планета	Прямое восхождение α	Склонение δ
Меркурий	$13^h 13^m$	-5°
Марс	$13^h 49^m$	-11°
Юпитер	$21^h 41^m$	-15°
Сатурн	$20^h 39^m$	-19°

Ответы:

1) Поскольку Венера в восточной элонгации, её можно наблюдать вечером на юго-западе сразу после захода Солнца. Планета располагается невысоко над горизонтом.

2) С помощью ПКЗН находим, что Солнце 29 октября находится в созвездии Весов (недалеко от α Весов), а Венера на $45-48^\circ$ к востоку – в созвездии Змееносца или Стрельца.

3) Судя по координатам, над горизонтом восточнее Венеры находятся яркие планеты Сатурн и Юпитер, обе в созвездии Козерога.

2. Земляне отправили сигнал к звезде τ Кита, имеющей блеск $3,6^m$ и светимость вдвое меньшую, чем у Солнца. Когда можно ждать ответный сигнал?

Дано: $m = 3,6^m$ $L = 0,5$

Сигнал летит со скоростью света, поэтому ответ следует ждать (если его сразу отправят!) не раньше времени, за которое свет преодолит двойное расстояние до τ Кита. Вычислим это расстояние (в световых годах).

1) Найдём абсолютную звёздную величину M τ Кита. $lgL = 0,4(M_\odot - M)$ $M_\odot = 4,8^m$
 $\Rightarrow M = M_\odot - 2,5lgL = 4,8^m - 2,5lg(0,5) = 5,5^m$

2) Вычислим расстояние до звезды r . $M = m + 5 - 5lgr_{[пк]} \Rightarrow$

$$r = 10^{\frac{m-M+5}{5}} = 10^{\frac{3,6-5,5+5}{5}} = 10^{0,62} = 4,17\text{пк} = \mathbf{13,6 \text{ св. лет.}} \quad (1\text{пк} = 3,26 \text{ св. года})$$

Таким образом, ответный сигнал следует ждать не раньше, чем через **27,2 года**.

3. Второй компонент двойной системы звёзд имеет блеск 5^m , а общий блеск системы 3^m . Вычислите, во сколько раз первый компонент ярче второго.

Дано: $m_2 = 5^m$, $m = 3^m$ $E_1/E_2 = ?$ $m_1 = ?$

Общий блеск системы больше блеска второго компонента на 2^m , т.е. в $2,512^2$ раз:

$$\frac{E}{E_2} = \frac{E_1 + E_2}{E_2} = 2,512^2 \quad \frac{E_1}{E_2} + 1 = 2,512^2 \quad \frac{E_1}{E_2} = 2,512^2 - 1 = \mathbf{5,31} \text{ раза.}$$

Найдём звёздную величину первого компонента m_1 . По формуле Погсона

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = \lg(5,31) = 0,4(m_2 - m_1) \Rightarrow m_1 = m_2 - 2,5 \lg(5,31) = 5^m - 2,5 \lg(5,31) = \mathbf{3,19^m}$$

4. Самолет вылетел из Москвы 4 октября в 20 час 05 минут и приземлился в Бангкоке на следующий день в 9 часов 55 минут. Тот же самолет вылетел в обратный рейс из Бангкока 5 октября в 12 часов 45 минут, а приземлился в Москве в 18 часов 35 минут. Определите часовой пояс Бангкока. Каждый момент времени указан по часам города, в котором находился самолёт. Время полёта туда и обратно считать одинаковым.

Так как все моменты даны по времени городов, то кажущаяся разница во времени полета самолета туда и обратно связана с разницей часовых поясов Москвы и Бангкока. Пусть T – реальное время полета самолета в один конец, а τ – разность поясного времени в Бангкоке и Москве. Тогда, поскольку время Бангкока должно опережать московское (так как Бангкок существенно восточнее Москвы), получаем систему уравнений

$$\begin{cases} T + \tau = 9\text{ч}55\text{м} - 20\text{ч}55\text{м} + 24\text{ч} = 13\text{ч}50\text{м} \\ T - \tau = 18\text{ч}35\text{м} - 12\text{ч}45\text{м} = 5\text{ч}50\text{м} \end{cases}$$

Добавка 24 часа в первом уравнении связана с тем, что самолет, вылетевший из Москвы 4 октября, приземлился в Бангкоке уже 5 октября.

Решая эту систему, получаем, что разница во времени Бангкока и Москвы $\tau = 4$ часа (время полета самолета $T = 9\text{ч}50\text{м}$). Поскольку московское время соответствует 3-му часовому поясу, получаем, что Бангкок находится в 7-м часовом поясе.

5. Автоматическая межпланетная станция (АМС) стартовала с земной орбиты и летит к орбите Марса по гомановскому эллипсу (это эллипс, который в перигелии касается орбиты Земли, а в афелии – орбиты Марса). В момент старта с орбиты Земли АМС имела скорость 33 км/с относительно Солнца. Какую скорость необходимо дополнительно придать АМС, когда она достигнет орбиты Марса, чтобы в дальнейшем она стала двигаться по круговой орбите вокруг Солнца. (Считать, что Земля и Марс движутся по круговым орбитам с радиусами 1 а.е. и 1,52 а.е., периоды их обращения равны 1 год и 1,88 года соответственно).

Вспользуемся II законом Кеплера («за равные промежутки времени радиус-вектор планеты заметает равные площади») для АМС в перигелии (на орбите Земли) и в афелии (на орбите Марса). На рисунке заштрихованы площади, пройденные по эллиптической орбите за единицу времени. Площади секторов можно считать приближённо равными площадям соответствующих треугольников. Поскольку время единичное, то основания треугольников (хорды, стягивающие заштрихованные сектора) численно равны скоростям в перигелии v_p и в афелии v_a , а высоты треугольников – перигелийное r_p и афелийное r_a расстояния. Из равенства площадей делаем вывод

$$v_a r_a = v_p r_p$$

$$\text{Т.к. } r_p = 1 \text{ а.е.}, r_a = 1,52 \text{ а.е.} \Rightarrow v_a = v_p \frac{r_p}{r_a} = 33 \frac{\text{км}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{1,52} = \mathbf{21,7 \text{ км/с}}$$

– такую скорость будет иметь АМС, подлетевшая к орбите Марса.

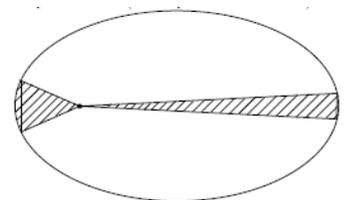
Найдём круговую скорость (в км/с) на орбите Марса, зная радиус орбиты Марса r_a и период его обращения вокруг Солнца $T_M = 1,88$ года.

$$v_M = \frac{2\pi r_a}{T_M} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,52 \text{ а.е.} \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км}}{1,88 \text{ г} \cdot (365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с})} \approx \mathbf{24,1 \text{ км/с}}$$

Следовательно, при подлёте к орбите Марса АМС требуется придать дополнительную скорость $\mathbf{24,1 - 21,7 = 2,4 \text{ км/с}}$.

6. Почему понятие «великое противостояние» используют только для Марса?

Великие противостояния происходят тогда, когда планета, находясь в противостоянии, к тому же оказывается и вблизи перигелия. В это время расстояние от Земли до планеты самое минимальное и планета имеет наиболее благоприятные условия видимости



(максимальный блеск, максимальный угловой диаметр). Для далёких от Земли внешних планет изменение условий видимости в различных противостояниях не столь значительно как для Марса. Можно привести две причины этого:

1) Марс – самая близкая к Земле внешняя планета, поэтому вообще зависимость его условий видимости от расстояния проявляется значительней, чем у других внешних планет.

2) Орбита Марса имеет значительный эксцентриситет (0,093), что приводит к значительному изменению расстояний до него во время разных противостояний (70-100 млн. км во время обычных противостояний и 56-60 млн. км – во время великих противостояний).

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Основные физические и астрономические постоянные	
Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ Скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$	Астрономическая единица $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$ Парсек $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Данные о Солнце	
Радиус $695\,000 \text{ км}$ Масса $1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ Светимость $3,88 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ Поток солн. энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м^2 Видимая звездная величина $-26,8^m$	Абсолютная визуальная звездная величина $+4,8^m$ Абсол. болометрическая звездная величина $+4,7^m$ Показатель цвета (B-V) $+0,67^m$ Температура поверхности около 6000К Средний горизонтальный параллакс $8,794''$

Данные о Земле	
Эксцентриситет орбиты $0,017$ Тропический год $365,24219 \text{ суток}$ Период вращения $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$ Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: $23^\circ 26' 21,45''$	Экваториальный радиус $6378,14 \text{ км}$ Полярный радиус $6356,77 \text{ км}$ Масса $5,974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ Средняя плотность $5,52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$

Данные о Луне	
Среднее расстояние от Земли 384400 км Эксцентриситет орбиты $0,055$ Наклон плоскости орбиты к эклиптике $5^\circ 09'$ Сидерический (звездный) период обращения $27,321662 \text{ сут.}$ Синодический период обращения $29,530589 \text{ суток}$	Радиус 1738 км Масса $7,348 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ или $1/81,3$ массы Земли Средняя плотность $3,34 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ Визуальное геометрическое альbedo $0,12$ Видимая звезд. величина в полнолуние $-12,7^m$

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЦА И ПЛАНЕТ

Планета	Масса		Радиус		Плотность $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	Гео-метр, альbedo	Видимая звездная величина** <i>m</i>
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1,989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108,97	1,41	25,380 сут	7,25	-	-26,8
Меркурий	$3,302 \cdot 10^{23}$	0,05271	2439,7	0,3825	5,42	58,646 сут	0,00	0,10	-0,1
Венера	$4,869 \cdot 10^{24}$	0,81476	6051,8	0,9488	5,20	243,019 сут*	177,36	0,65	-4,4
Земля	$5,974 \cdot 10^{24}$	1,00000	6378,1	1,0000	5,52	23,934 час	23,45	0,37	-
Марс	$6,419 \cdot 10^{23}$	0,10745	3397,2	0,5326	3,93	24,623 час	25,19	0,15	-2,9
Юпитер	$1,899 \cdot 10^{27}$	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	-2,9
Сатурн	$5,685 \cdot 10^{26}$	95,181	60268	9,4494	0,69	10,656 час	25,33	0,47	-0,5
Уран	$8,683 \cdot 10^{25}$	14,535	25559	4,0073	1,32	17,24 час*	97,86	0,51	5,7
Нептун	$1,024 \cdot 10^{26}$	17,135	24746	3,8799	1,64	16,11 час	28,31	0,41	7,8
Плутон	$1,5 \cdot 10^{22}$	0,003	1160	0,1819	1,1	6,387 сут*	122,52	0,3	13,7

* - обратное вращение.

** - для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и наиболее близкого противостояния внешних планет.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРБИТ ПЛАНЕТ

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики градусы	Период обращения	Синодический период сут.
	млн. км	а.е.				
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
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	164,79 лет	367,5
Плутон	5913,5	39,5294	0,2482	17,148	248,54 лет	366,7

