

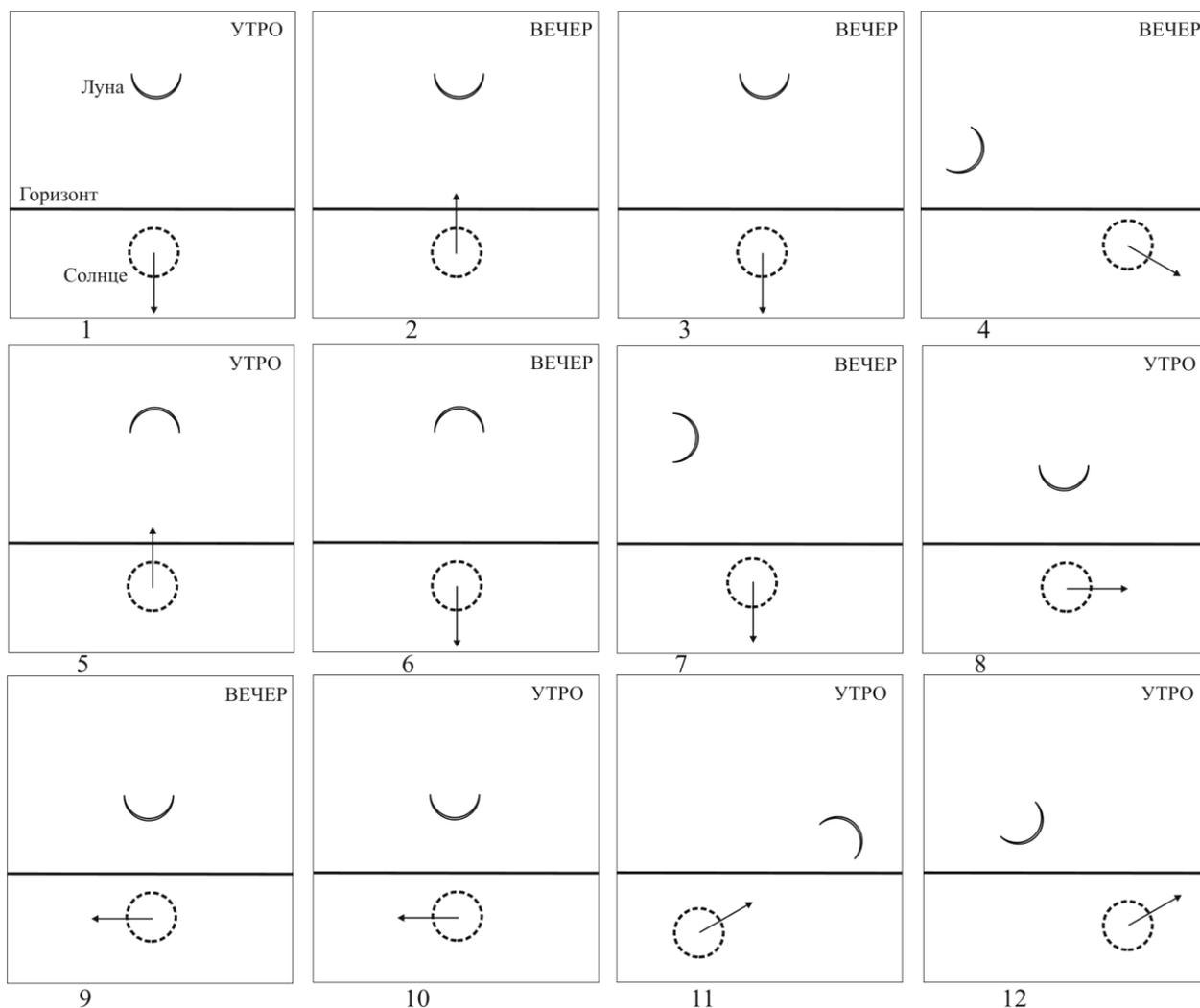
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
 АСТРОНОМИЯ. 2023–2024 уч. г.
 МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 77.

Задача № 1

На рисунке представлены 12 зарисовок положения Солнца, тонкого серпа Луны и горизонта. На каждой зарисовке подписано время (по местному времени) и стрелкой показано примерное направление, в котором двигалось Солнце для наблюдателя. Размеры Солнца и Луны на картинках искусственно увеличены.



Разделите зарисовки на 4 типа.

- А) Такая картина могла бы наблюдаться на экваторе.
- Б) Такая картина могла бы наблюдаться на Северном полюсе.
- В) Такая картина могла бы наблюдаться в средних широтах Северного полушария.
- Г) Такая картина не может наблюдаться ни в одном из указанных выше пунктов.

Ответ:

А) 3

Б) 8

В) 4, 12

Г) 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11

Критерии оценивания

За каждый верно распределённый по пунктам номер зарисовки +1 балл. При указании в пункте Г всех ответов 1 – 12 за задачу выставляется 0 баллов.

Максимум за задачу 12 баллов.

Задачи № 2-3

В таблице представлены параметры орбит планет Солнечной системы.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРБИТ ПЛАНЕТ

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Период обращения	Синодический период, сут.
	млн км	а.е.			
Меркурий	57,9	0,3871	0,2056	87,97 сут	115,9
Венера	108,2	0,7233	0,0068	224,70 сут	583,9
Земля	149,6	1,0000	0,0167	365,26 сут	—
Марс	227,9	1,5237	0,0934	686,98 сут	780,0
Юпитер	778,3	5,2028	0,0483	11,862 лет	398,9
Сатурн	1429,4	9,5388	0,0560	29,458 лет	378,1
Уран	2871,0	19,1914	0,0461	84,01 лет	369,7
Нептун	4504,3	30,0611	0,0097	164,79 лет	367,5

№2. Известно, что диаметр Марса равен 6792 км. Чему равен угловой диаметр Марса при его максимальном сближении с Землёй? Орбиту Земли считайте круговой. Ответ выразите в угловых секундах и округлите до десятых. Необходимые для решения данные возьмите из таблицы, орбиту Земли считайте круговой.

Ответ: 24,5

№3. Какое небесное тело сильнее всего (в процентах) меняет свои угловые размеры при наблюдениях с Земли?

- 1) Луна
- 2) Солнце
- 3) Венера
- 4) Марс
- 5) Меркурий
- 6) Юпитер
- 7) Сатурн

- 8) Уран
- 9) Нептун

Критерии оценивания:

№2. За попадание в интервал [24;25] ставится **+6 баллов**.

№3. За ответ «Марс» ставится **+5 баллов**, за ответ «Венера» ставится **+3 балла**.

Решение

№2. Угловой диаметр Марса в радианах есть отношение его линейного диаметра к расстоянию между Землёй и Марсом. Минимальное расстояние между этими планетами будет во время того противостояния, в котором Марс будет находиться еще и в перигелии – ближайшей к Солнцу точке своей орбиты: $r_{min} = a(1 - e) - a_{\oplus}$. Тогда угловой диаметр равен $6792 / r_{min}$. Чтобы перевести радианы в угловые секунды надо воспользоваться известным соотношением $1 \text{ рад} = 206265''$. В итоге получится ответ $24,5''$.

№3. Как мы уже сказали, угловой размер небесного тела определяется отношением его размера и расстояния до тела от наблюдателя. Соответственно, сильнее всего угловые размеры меняются у тех небесных тел, расстояние до которых изменяется больше всего. Из рассмотрения можно сразу убрать Луну и Солнце, расстояние до которых от Земли, как мы знаем, изменяется мало. Для оставшихся планет можно составить таблицу, в которую вписать минимальное r_{min} и максимальное r_{max} расстояние до планеты. Так как в условии не предлагается пренебречь эксцентриситетом орбит, то надо учесть их эллиптичность: $r_{max} = a_{\oplus} + a(1 + e)$, а величина r_{min} будет по-разному вычисляться для внешних и внутренних планет: для внешних $r_{min} = a(1 - e) - a_{\oplus}$, для внутренних $r_{min} = a_{\oplus} - a(1 + e)$ (здесь $a_{\oplus} = 1 \text{ а. е.}$ – большая полуось орбиты Земли).

Однако можно догадаться, что заполнять таблицу данными для всех планет не обязательно – сильнее всего расстояние изменяется лишь для самых близких к Земле планет. Вычислим r_{min} и r_{max} для Венеры и Марса и найдём, во сколько раз изменяется их угловой размер.

Венера – $r_{min} = 0,2718 \text{ а. е.}$, $r_{max} = 1,7282 \text{ а. е.}$ – угловой размер будет меняться в $1,7282 / 0,2718 = 6,36$ раз.

Марс – $r_{min} = 0,3814 \text{ а. е.}$, $r_{max} = 2,666 \text{ а. е.}$ – угловой размер будет меняться в $2,666 / 0,3814 = 6,99$ раз.

Мы видим, что сильнее всего изменяется угловой размер у Марса – в 7 раз.

Если бы мы пренебрегли эксцентриситетом планет, то получились бы следующие величины:

Венера – $r_{min} = 0,2767 \text{ а. е.}$, $r_{max} = 1,7233 \text{ а. е.}$ – угловой размер будет меняться в $1,7233 / 0,2767 = 6,22$ раз;

Марс – $r_{min} = 0,5237$ а. е., $r_{max} = 2,5237$ а. е. – угловой размер будет меняться в $2,5237 / 0,5237 = 4,82$ раз.

Получается, что в случае приближения «круговых орбит» сильнее всего изменяется угловой размер Венеры.

Максимум за задачи 11 баллов.

Задачи № 4-6

На Земле в пункте с широтой 40° с.ш. на высоте 30° наблюдается верхняя кульминация звезды.

№4. Чему будет равна высота этой звезды в нижней кульминации? Ответ приведите в градусах и округлите до целого.

Ответ: -70

№5. Через какое время по местным часам после верхней наступит нижняя кульминация?

- 1) $11^{\text{ч}}58^{\text{м}}$
- 2) $12^{\text{ч}}00^{\text{м}}$
- 3) $12^{\text{ч}}02^{\text{м}}$
- 4) $11^{\text{ч}}56^{\text{м}}$
- 5) $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}$
- 6) $23^{\text{ч}}56^{\text{м}}$

№6. Выберите все верные утверждения.

- 1) Эта звезда является незаходящей для всех широт Северного полушария Земли.
- 2) Эта звезда является незаходящей для всех широт Южного полушария Земли.
- 3) Эта звезда является незаходящей для наблюдателя на экваторе Земли.
- 4) Эту звезду нельзя одновременно наблюдать с Северного и Южного полюсов Земли.
- 5) Эта звезда является незаходящей для наблюдателя на Южном полюсе Земли.
- 6) Эта звезда является незаходящей для наблюдателя на Северном полюсе Земли.

Решение

Верхняя кульминация на высоте 30° на широте 40° с.ш. наблюдается над точкой юга. Высота звезды в верхней кульминации в этом случае вычисляется по формуле $h = 90^\circ - \varphi + \delta$. Отсюда можно найти склонение звезды $\delta = -20$. Подставив эту величину в формулу для нижней кульминации $h_n = \delta - 90^\circ + \varphi$, получим ответ $h_n = -70^\circ$.

Между одноимёнными кульминациями звёзд проходят ровно одни звёздные сутки. Между разноимёнными кульминациями проходит половина звёздных суток. Как известно, звёздные сутки длятся примерно $23^{\text{ч}}56^{\text{м}}$ по солнечному (т. е. местному) времени. А значит, между верхней и нижней кульминациями звезды пройдёт $11^{\text{ч}}58^{\text{м}}$.

Мы получили, что склонение звезды отрицательно. Это значит, что её нельзя наблюдать с Северного полюса. По этой же причине она является незаходящей звездой для наблюдателя на Южном полюсе и не может являться незаходящей звездой для наблюдателя на Северном полюсе.

Критерии оценивания

№4. За верный ответ **+4 балла**.

№5. За верный ответ **+4 балла**.

№6. За каждый верный выбор **+2 балла**; за ошибочный выбор ставится **–1 балл** за каждый пункт.

Максимум за задачи 12 баллов.

Задачи № 7-9

Известно, что видимая звёздная величина Солнца равна $-26,8^{\text{m}}$, а его абсолютная звёздная величина равна $4,8^{\text{m}}$. Светимость некоего белого карлика ровно в 10 000 раз меньше светимости Солнца.

№7. Чему равна абсолютная звёздная величина этого белого карлика? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 14,8

№8. Каков был бы видимый блеск этого белого карлика, в случае, если бы он находился на месте Солнца? Различием цветов звёзд пренебречь. Ответ округлите до десятых.

Ответ: $-16,8$

№9. Во сколько раз радиус этого белого карлика меньше радиуса Солнца, если известно, что температура его поверхности равна 9000 К, а температура поверхности Солнца равна 5800 К? Ответ округлите до целого.

Ответ: 241

Критерии оценивания

№7. За верный ответ **+4 балла**.

№8. За верный ответ **+4 балла**.

№9. За попадание в интервал $[239;243]$ **+4 балла**.

Решение

Известно, что разность в 5 звёздных величин соответствует изменению освещённости в 100 раз. Значит, изменение в 10 000 раз соответствует разности блеска в 10 величин. Эту величину можно (но это не обязательно) получить из формулы Погсона: $m_2 - m_1 = 2,5 \lg \frac{L_1}{L_2}$

То есть и абсолютный, и видимый его блеск будет на 10 звёздных величин слабее, чем у Солнца: видимый блеск будет равен $-16,8^m$, абсолютный будет равен $14,8^m$.

Светимость звезды L связана с её радиусом R и эффективной температурой T через соотношение $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$, где σ — постоянная Стефана-Больцмана. Запишем выражение для отношения светимостей двух звёзд:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4.$$

Отсюда можно выразить отношение радиуса Солнца к радиусу белого карлика: $\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \left(\frac{9000}{5800}\right)^2 \sqrt{10000} \approx 241$.

Максимум за задачи 12 баллов.

Задачи № 10-12

В настоящее время длительность лунного месяца примерно равна 29,5 суток.

№10. Какой станет продолжительность лунного месяца, если величина орбитального периода Земли уменьшится на 20%, а период осевого вращения Земли и период обращения Луны вокруг Земли ($P = 27,3$ суток) не изменятся? Ответ приведите в сутках и округлите до десятых.

Ответ: 30,1

№11. Какой станет продолжительность лунного месяца, если период осевого вращения Луны уменьшится на 20%, а период осевого вращения Земли и период обращения Луны вокруг Земли ($P = 27,3$ суток) не изменятся? Ответ приведите в сутках и округлите до десятых.

Ответ: 29,5

№12. Какой станет величина большой полуоси орбиты Земли, если величина орбитального периода Земли уменьшится на 20%? Ответ приведите в астрономических единицах и округлите до сотых.

Ответ: 0,86

Критерии оценивания

№10. За попадание в интервал $[30;30,2]$ +4 балла.

№11. За точное совпадение с ответом +4 балла.

№12. За попадание в интервал $[0,85;0,86]$ +4 балла.

Решение

Продолжительность лунного месяца T – это период смены лунных фаз (например, время между двумя последовательными полнолуниями). Его длительность зависит и от значения орбитального периода Земли $P_{\oplus} = 0,8 \cdot 1$ лет, и от значения орбитального периода Луны P . Вычислить T можно по формуле для синодического периода:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{P} - \frac{1}{P_{\oplus}}.$$

Отсюда $T \approx 30,1$ суток.

От величины осевого периода вращения Луны период смены лунных фаз (синодический период обращения Луны вокруг Земли) не зависит. Соответственно, из-за его увеличения на 20% продолжительность лунного месяца не изменится.

С изменением величины орбитального движения Земли изменится и размер её орбиты. Известно, что размер орбиты связан с периодом обращения через 3-й закон Кеплера. В данном случае его можно записать в наиболее простом виде: $a^3 = T^2$, где a – большая полуось орбиты (в а.е.), а T – период обращения, выраженный в современных земных годах.

Отсюда $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{0,8^2} = 0,86$ а.е.

Максимум за задачи 12 баллов.

Задачи № 13-16

Недавно в СМИ была опубликована новость об открытии расширяющейся с постоянным уменьшением скорости расширения газовой оболочки – остатка вспышки Сверхновой в Большом Магеллановом Облаке (расстояние от Солнца до остатка 50 кпк). Вспышка должна была бы наблюдаться на Земле 400 лет назад (но астрономы тех времён её не заметили). Диаметр оболочки в момент открытия составил 23 световых года, а скорость расширения оболочки – 17 млн км/ч.

№13. Запишите скорость расширения оболочки в метрах в секунду. Ответ округлите до целых.

Ответ: 4722222

№14. Запишите угловой диаметр оболочки в момент открытия. Ответ запишите в угловых секундах и округлите до целых.

Ответ: 29

№15. Чему равен угловой диаметр оболочки через 100 лет после вспышки? Ответ запишите в угловых секундах и округлите до десятых.

Ответ: 10

№16. С какой скоростью расширялась оболочка непосредственно при взрыве звезды? Ответ приведите в км/с и округлите до целого.

Ответ: 12600

Критерии оценивания

№13. За попадание в интервал [4720000;4723000] +2 балла.

№14. За попадание в интервал [28;30] +4 балла.

№15. За попадание в интервал [9,5;10,6] +6 баллов.

№16. За попадание в интервал [12000;13200] +6 баллов.

Решение

№ 13. Переведём все численные значения из условия задачи в единицы СИ.

- Расстояние до остатка $d = 50 \text{ кпк} = 50000 \cdot 206265 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м} = 1,55 \cdot 10^{21} \text{ м}$ (тут использован тот факт, что в 1 пк содержится 206265 а.е. Можно использовать соотношение $1 \text{ пк} \approx 3,08 \cdot 10^{16} \text{ м}$, можно воспользоваться определением парсека и из него получить эти величины).
- Диаметр оболочки $D = 23 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м} = 2,18 \cdot 10^{17} \text{ м}$.
- Скорость расширения оболочки в настоящее время $V = 17 \cdot \frac{10^6 \cdot 1000}{3600} \approx 4,72 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.
- Возраст остатка $T_0 = 400 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 = 1,26 \cdot 10^{10} \text{ с}$.

№ 14. Угловой диаметр оболочки в радианах легко найти, разделив линейный размер объекта на расстояние до него. Для перехода от радианов к угловым секундам воспользуемся числом секунд в радиане: 206265.

$$\bullet \quad \rho_0 = \frac{D}{d} = \frac{2,18 \cdot 10^{17}}{1,55 \cdot 10^{21}} \approx 1,41 \cdot 10^{-4} \text{ рад} \approx 29''.$$

№15-16. Так как расширение оболочки происходит с замедлением, то для того чтобы ответить на 2-й вопрос задачи, нельзя просто разделить наблюдаемый сейчас (т.е. спустя 400 лет после вспышки сверхновой) угловой радиус оболочки пополам – вещество оболочки двигалась все эти годы с постепенно снижающейся скоростью. Чтобы найти радиус оболочки надо найти ускорение, с которым движется разлетающееся вещество (по условию задачи движение равноускоренное).

Запишем 2 уравнения для равноускоренного движения, известные нам из курса физики:

$$x = x_0 + V_0 t + \frac{at^2}{2} \text{ и } V = V_0 + at .$$

$x = D/2$ и V — радиус оболочки и скорость её расширения в момент $t = T_0 = 400$ лет, V_0 — скорость в начале расширения, a — ускорение, x_0 — радиус взорвавшейся звезды, с поверхности которой начался разлёт оболочки (этой величиной можно пренебречь по сравнению с огромными размерами оболочки в конце).

Решая систему этих уравнений, можно получить и ускорение a , и скорость в начале разлёта V_0 :

$$V_0 = \frac{2x}{t} - V \text{ и } a = \frac{2(x - V_0 t)}{t^2}$$
$$V_0 = 1,26 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$
$$a = -6,27 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2 .$$

Вернёмся к определению размера оболочки через $t=100$ лет после вспышки. Линейный радиус оболочки будет равен: $x = x_0 + V_0 t + \frac{at^2}{2} = 3,66 \cdot 10^{16} \text{ м}$ (величиной x_0 мы пренебрегли).

Угловой радиус оболочки через 100 лет после вспышки был равен: $\rho = \frac{x}{d} = 4,32 \cdot 10^{-5} \text{ рад} = 4,9''$. Соответственно, угловой диаметр будет вдвое больше — примерно $10''$.

Примечание: в авторском решении на каждом следующем шаге использовались полученные ранее данные с 2-мя значащими цифрами. Однако если проводить вычисления без округлений на промежуточных шагах, то ответы могут отличаться в последнем знаке.

Максимум за задачи 18 баллов.

Максимальный балл за работу – 77.