

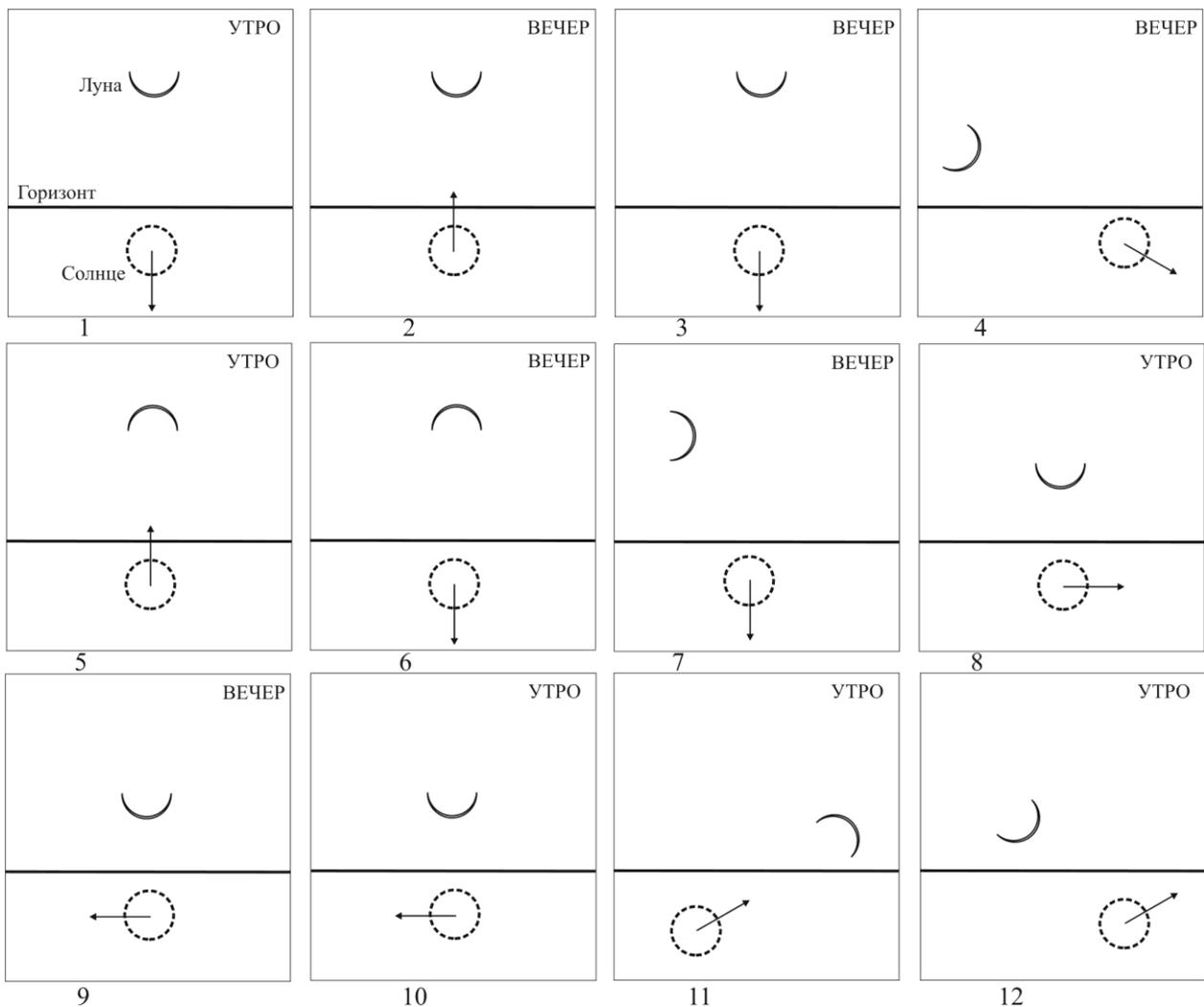
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
 АСТРОНОМИЯ. 2023–2024 уч. г.
 МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 8-9 КЛАССЫ

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 71.

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.

Задача № 2

Сопоставьте два списка. В одном приведены астрономические объекты, в другом – размеры (диаметры), выраженные в различных единицах.

Объект	Размер
А) туманность Андромеды	1) 70 кпк
Б) Солнце	2) 1 400 000 000 м
В) Марс	3) 4 радиуса Луны
Г) Луна	4) 3400 км
Д) планетарная туманность Кольцо	5) 95 000 а. е.
Е) Земля	6) $8,53 \cdot 10^{-5}$ а. е.
Ж) Нептун	7) 8 радиусов Земли

Ответ: А-1, Б-2, В-3, Г-4, Д-5, Е-6, Ж-7

Критерии оценивания

За каждую верную пару **+1 балл**.

Максимум за задачу 7 баллов.

Задачи № 3-5

На экваторе Земли высота некоторой звезды в верхней кульминации равна 62° .

№3. Чему будет равна высота этой звезды в нижней кульминации?

- 1) $+62^\circ$
- 2) $+28^\circ$
- 3) $+38^\circ$
- 4) -62°
- 5) -28°
- 6) -38°
- 7) 0°

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

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1) $11^{\text{ч}}58^{\text{м}}$ | 6) $23^{\text{ч}}56^{\text{м}}$ |
| 2) $12^{\text{ч}}00^{\text{м}}$ | 7) $6^{\text{ч}}00^{\text{м}}$ |
| 3) $12^{\text{ч}}02^{\text{м}}$ | 8) $23^{\text{ч}}58^{\text{м}}$ |
| 4) $11^{\text{ч}}56^{\text{м}}$ | 9) $5^{\text{ч}}58^{\text{м}}$ |
| 5) $24^{\text{ч}}00^{\text{м}}$ | |

№5. По какой линии будет двигаться эта звезда в течение суток?

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1) <u>суточная параллель</u> | 5) круг склонений |
| 2) круг высоты | 6) ось мира |
| 3) небесный меридиан | 7) полуденная линия |
| 4) небесный экватор | |

Критерии оценивания

№3. За верный ответ + **2 балла**.

№4. За верный ответ + **4 балла**.

№5. За верный ответ + **2 балла**.

Решение

На экваторе Земли все звёзды восходят и заходят. Это значит, что у всех звёзд нижние кульминации наблюдаются под горизонтом. Исходя из симметрии картины, для каждой звезды высота в нижней кульминации будет по модулю равна высоте в верхней кульминации, но знак будет «минус», т. е. искомая высота равна -62° .

Этот же ответ можно получить из анализа стандартного рисунка небесной сферы.

Кроме того, можно воспользоваться формулами для высоты в кульминациях. В верхней кульминации $h = 90^{\circ} - \varphi + \delta$ либо $h = 90^{\circ} + \varphi - \delta$. Так как наблюдения проводятся на экваторе, то $\varphi = 0$ и $\delta = h - 90^{\circ}$ либо $\delta = 90^{\circ} - h$. Таким образом, склонение звезды равно либо $+28^{\circ}$, либо -28° .

Высота в нижней кульминации для случая $\varphi = 0$ равна $h_{\text{н}} = -90^{\circ} \pm \delta$. Подставив в формулу $\delta = +28^{\circ}$ (при этом формуле перед δ надо использовать «+»), получим высоту в нижней кульминации -62° . Подставив $\delta = -28^{\circ}$ (при этом в формуле перед δ надо использовать «-»), получим высоту в нижней кульминации также -62° .

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

Максимум за задачи 8 баллов.

Задачи № 6-8

Перед Вами снимок, полученный фотографом во Франции. Одно из его названий – «... Луны на фоне маяка».



№6. Какое явление запечатлено на снимке?

- 1) пепельный свет Луны
- 2) Лунное затмение
- 3) Солнечное затмение
- 4) не хватает данных для выбора

№7. Луна на снимке растущая или стареющая?

- 1) растущая
- 2) стареющая
- 3) не хватает данных для выбора

№8. Зная, что фотограф находился в 500 метрах от маяка, определите высоту этого сооружения. Ответ приведите в метрах и округлите до целого.

Ответ: 22

Критерии оценивания

№6. За верный ответ +2 балла.

№7. За верный ответ +2 балла.

№8. За попадание в интервал [17;27] +6 баллов.

Решение

Найдём высоту маяка. Возможны разные пути решения задачи. Ниже представлен лишь один из них. Участники могут использовать, например, тригонометрические функции. Можно воспользоваться пропорцией, связывающей различные линейные размеры.

Итак, определим видимые угловые размеры маяка. Известно, что угловой диаметр Луны близок к $\alpha = 0,5^\circ$. Эту величину можно помнить, а можно найти, зная диаметр Луны и расстояние до неё: $\alpha = \frac{D}{L} = \frac{3400}{384400}$ рад $\approx 0,5^\circ$.

Чтобы перевести угловые размеры из радианной меры в градусную, можно воспользоваться известным соотношением $360^\circ = 2\pi$ рад, откуда 1 рад $\approx 57,29^\circ$, или любым другим соотношением, известным участнику. Луна послужит нам своеобразной линейкой – измерим размеры (высоту) маяка на приведённом снимке (в мм), измерим размеры (диаметр) Луны на снимке (в мм), и найдём их отношение $n \approx 5$ (значение, которое может встретиться в решениях участников, зависит прежде всего от того, как была измерена высота маяка на снимке – можно выбрать различные точки начала и конца изображения маяка; однако величина n должна лежать в пределах от 4 до 6). Угловые размеры маяка для фотографа были равны $\beta = 0,5^\circ n = 2,5^\circ$.

Зная угловые размеры тела и расстояние до него, можно найти его линейные размеры: $h = \beta \cdot x$. Угол β здесь должен быть выражен в радианах. Подставляя значения, получим $h \approx 22$ м (для допустимого диапазона n ответ будет лежать в диапазоне от 17 до 27 м).

Максимум за задачи 10 баллов.

Задачи № 9-10

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

№9. Какой станет продолжительность лунного месяца, если величина орбитального периода Земли увеличится 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: 29,1

№10. Какой станет продолжительность лунного месяца, если период осевого вращения Луны увеличится 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

Критерии оценивания

№9. За попадание в интервал $[29;29,2]$ +5 баллов.

№10. За точное совпадение с ответом +5 баллов.

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, длительность которого составит $P_{\oplus} = 1,2 \cdot 1$ года, 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 $T \approx 29,1$ 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.

Максимум за задачи 10 баллов.

Задачи № 11-12

В таблице приведены характеристики четырёх астероидов. Для каждого из них дан или радиус орбиты, или период орбитального движения. Орбиты всех тел считать круговыми и лежащими в плоскости эклиптики.

№	Радиус орбиты	Период вращения
1	1,2 а. е.	
2	100 млн км	
3		0,716 лет
4		14500 ч

№11. Какие из астероидов являются внутренними (т.е. их орбиты находятся внутри орбиты Земли)?

Ответ: 2, 3

№12. Какие из перечисленных астероидов для наземного наблюдателя в ходе орбитального движения изменяют свой видимый угловой диаметр сильнее всего (в большее число раз)?

Ответ: 1, 3

Критерии оценивания

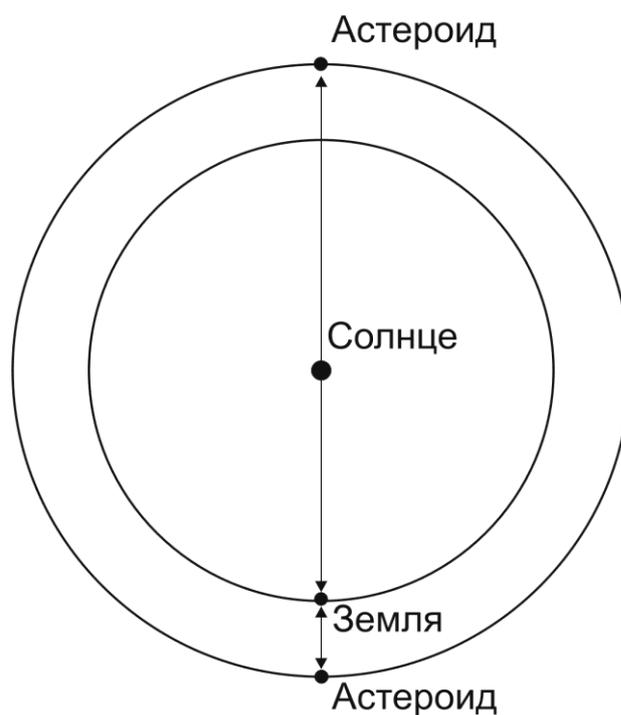
№11. За верный выбор каждого астероида **+2 балла**. За ошибочный выбор ставится **–2 балла** за каждый пункт.

№12. За ответ 1 или 1 и 3 **+6 баллов**.

Решение

Угловой размер α вычисляется по формуле $\alpha = \frac{r}{R}$, где r – диаметр тела, а R – расстояние до него от наблюдателя. Максимальным угловой размер будет в самой близкой к наблюдателю точке орбиты, а минимальным – в наиболее удалённой. Для внешнего астероида это будет в моменты противостояния и соединения, а для внутреннего – в моменты нижнего и верхнего соединений.

Таким образом, чтобы найти, в какое максимальное число раз изменится угловой размер в ходе орбитального движения (астероида и Земли) надо



найти отношение расстояний в указанные два момента. И выбрать тот астероид, у которого оно максимально. Для того чтобы можно было сравнить все четыре астероида, необходимо определить значения больших полуосей астероидов №3 и №4.

Воспользуемся простой формой III закона Кеплера: $a^3 = T^2$ (для величин a и T заданных в единицах а.е. и года) и подставим в неё периоды обращений из таблицы. Для астероида №2 выразим радиус орбиты так же в а.е. Получим новую таблицу:

№	Радиус орбиты	R_{\min}	R_{\max}
1	1,2 а.е.	0,2 а.е.	2,2 а.е.
2	0,67 а.е.	0,33 а.е.	1,67 а.е.
3	0,8 а.е.	0,2 а.е.	1,8 а.е.
4	1,4 а.е.	0,4 а.е.	2,4 а.е.

Для астероидов №1 и №3 отношение R_{\max} / R_{\min} близко к 10 (11 и 9 соответственно), для астероидов № 2 и № 4 оно близко к 5 (5 и 6 соответственно). Таким образом, можно выделить астероиды № 1 и № 3 как тела, показывающие наибольшее изменение углового диаметра в ходе своего орбитального движения. Ответ «астероид № 1» также является верным – у него максимальное изменение размера среди рассматриваемых в задаче тел.

Максимум за задачи 10 баллов.

Задачи 13-17

Вокруг красного карлика Солоса вращается землеподобная планета Земос. У планеты есть спутник – Лунос. Орбиты всех тел круговые и лежат в одной плоскости. Некоторые параметры этой системы приведены в таблице.

Параметр	Значение
расстояние Земос – Лунос	38 000 км
расстояние Земос – Солос	10 000 000 км
масса Солоса	0.1 масса Солнца
масса Земоса	1 масса Земли
радиус Солоса	100 000 км
радиус Луноса	500 км

№13. Могут ли жители Земоса каждый луносовский месяц наблюдать затмения Солоса? Влиянием атмосферы пренебречь.

- да
- нет
- недостаточно данных для ответа

№14. Чему равен угловой диаметр Солоса для жителей Земоса? Ответ выразите в градусах и округлите до десятых.

Ответ: 1,1

№15. Чему равен угловой диаметр Луноса для жителей Земоса? Ответ выразите в градусах и округлите до целых. Размерами Земоса пренебречь.

Ответ: 2

№16. Являются ли затмения Солоса полными? Размерами Земоса пренебречь.

- да
- нет
- недостаточно данных для ответа

№17. Чему равна полная длительность затмения Солоса? Ответ выразите в секундах и округлите до целого. Размерами, вращением и движением Земоса вокруг Солоса пренебречь.

Для справки: в системе Земля – Луна расстояние между телами равно 384400 км, сидерический период Луны составляет 27,3 суток.

Ответ: 528

Критерии оценивания:

№13. За верный выбор **+1 балл**.

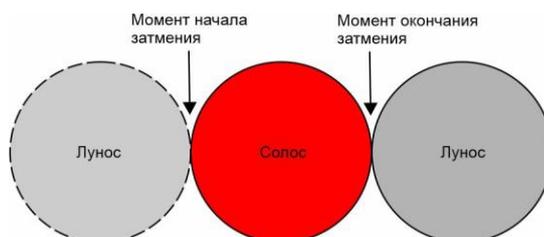
№14. За попадание в интервал [1;1,2] **+3 балла**.

№15. За ответы 1 или 2, а также, в виде исключения, 1,5 **+3 балла**.

№16. За верный выбор **+1 балл**.

№17. За попадание в интервал [500;550] **+6 баллов**.

Решение



Т. к. орбиты тел лежат в одной плоскости, то затмения будут происходить каждый синодический период обращения Луноса.

Найдём угловые размеры Солоса и Луноса. Так, угловой диаметр Луноса равен (пренебрегая размерами Земоса)

$$\rho_{\text{Л}} = \frac{2 \times R_{\text{Л}}}{d_{\text{ЗЛ}}} = \frac{2 \times 500 \text{ км}}{38000 \text{ км}} = 0,0263 \text{ рад} \approx 1,5^\circ$$

Аналогично получим, что угловой диаметр Солоса:

$$\rho_{\text{С}} = \frac{2 \times R_{\text{С}}}{d_{\text{ЗС}}} = \frac{2 \times 100000 \text{ км}}{10000000 \text{ км}} = 0,02 \text{ рад} \approx 1,1^\circ .$$

Т.к. угловые размеры Луноса больше, то затмение каждый раз будет полным.

Полную длительность затмения можно определить как время, за которое центр диска Луноса проходит на небе угол, равный двум своим угловым радиусам плюс угловой диаметр Солоса. Этот угол равен $2,6^\circ$.

Вычислим сидерический период Луноса, сравнивая систему Земос – Лунос с системой Земля – Луна. Это можно сделать, используя 3-й упрощённый закон Кеплера напрямую, так как масса Земоса равна массе Земли. Получим $a^3 = T^2$ (для величин a и T , заданных в единицах расстояния Луна-Земля и сидерического периода Луны). Отсюда $T = \sqrt{a^3} = \sqrt{(38000/384400)^3} = 0,031$ периода обращения Луны. Или $T = 0,846$ земных суток = 73120 с. Значит, для того, чтобы пройти по небу Земоса угол в 1° , Луносу потребуется $73120 / 360 = 203$ секунды. Угол в $2,6^\circ$ он пройдёт за 528 секунд.

Максимум за задачи 14 баллов.

Максимальный балл за работу – 71.