

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

Максимальное количество баллов — 100.

Задания 1–4

27 июля 2018 года состоялось полное лунное затмение. Оно оказалось примечательным по двум причинам. Во-первых, это самое длинное полное лунное затмение в XXI веке. Во-вторых, в момент затмения Луна наблюдалась на земном небе рядом с Марсом. Расстояние от Марса до Солнца в тот день составляло 1.40 а. е.



1) Определите расстояние от Марса до Земли в тот день. Орбиту Земли считайте круговой. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых.

Ответ: 0.4

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Решение

Луна в затмении находится против Солнца, так что наблюдающийся рядом Марс — в противостоянии, а расстояние между ним и Землёй равно разности радиусов орбит Марса и Земли.

2) Как называется конфигурация, в которой Марс и Земля при наблюдении с Солнца оказываются примерно на одном луче на минимальном расстоянии друг от друга?

- Великое противостояние
- Уникальное происшествие
- Редкое явление
- Удобное событие
- Знаменательное совпадение

Точное совпадение ответа — 2 балла.

Решение

Великие противостояния наблюдаются каждые 15 или 17 лет.

3) Когда наступило ближайшее после того дня новолуние?

- 1 апреля
- 28 июня
- 13 июля
- 11 августа
- 26 августа
- 25 сентября

Точное совпадение ответа — 2 балла.

Решение

Период смены фаз Луны — один месяц (точнее, 29.5 суток). Лунное затмение наблюдается в полнолуние. Следующее новолуние — через половину месяца.

4) В каком созвездии наблюдался Марс?

- Козерог
- Телец
- Близнецы
- Овен
- Рак

Точное совпадение ответа — 3 балла.

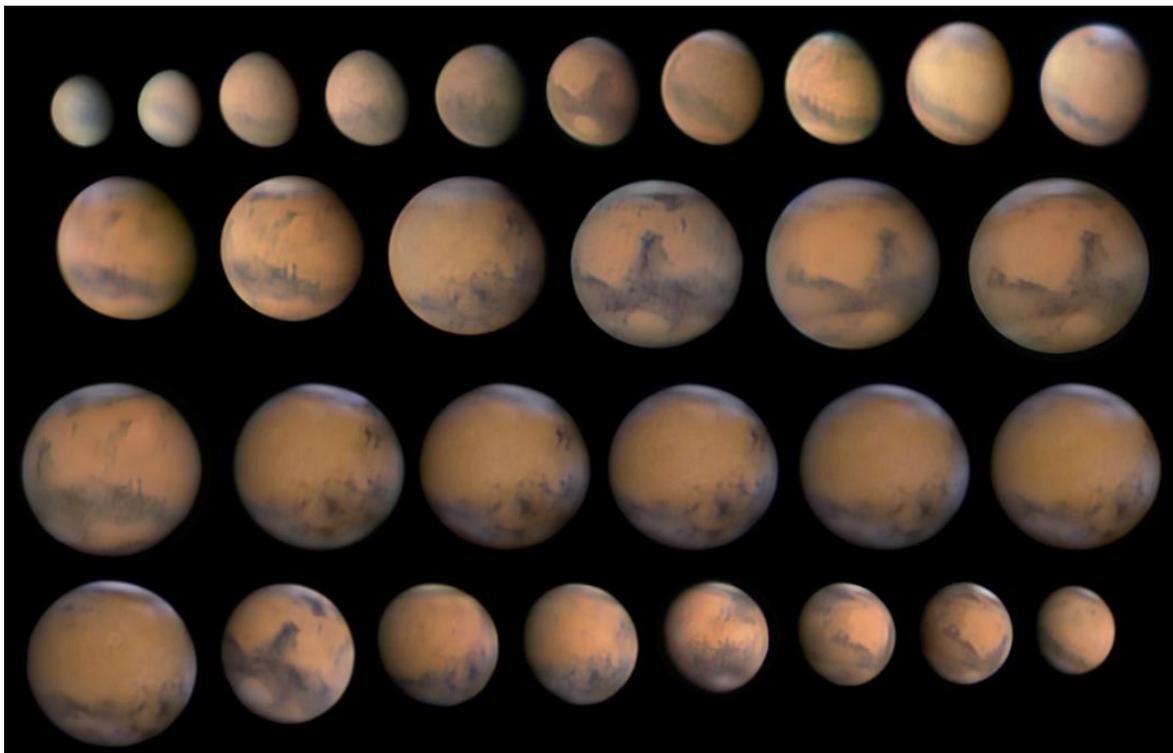
Решение

Солнце 27 июля находится в летнем секторе эклиптики, в созвездии Рака. Овен, Телец, Близнецы, Рак — весенне-летние созвездия. Марс противостоит Солнцу и находится в зимнем созвездии Козерога.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задания 5-7

Земля и Марс обращаются вокруг Солнца по близким к круговым орбитам, лежащим примерно в одной плоскости. Расстояние между Землёй и Марсом из-за их орбитального движения изменяется, вследствие чего видимый угловой размер Марса на земном небе тоже варьирует. На изображении представлены фотографии Марса, сделанные в 2007–2008 годах с одинаковым масштабом.



5) Используя предложенное изображение, определите, во сколько раз наибольший видимый угловой размер Марса превышает наименьший. Ответ округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [2; 3]

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Решение

Непосредственное измерение.

б) Считая, что изображение охватывает весь возможный диапазон видимых размеров Марса, определите радиус его орбиты. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [2; 3]

Точное совпадение ответа — 5 баллов.

Решение

Видимый угловой размер при прочих равных обратно пропорционален расстоянию до объекта (если угол, под которым виден объект, достаточно мал). В таком случае отношение α , найденное выше, есть отношение максимального и минимального расстояний до Марса.

Пусть x — радиус орбиты Марса в а. е., тогда

$$\alpha = \frac{x + 1}{x - 1},$$

откуда

$$x = \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1}.$$

Отметим, что реальная большая полуось орбиты Марса в диапазон возможных ответов не входит. Это означает, что предположение в условии *неверно*.

7) Почему вид поверхности Марса отличается на разных фотографиях?

- Марс вращается вокруг своей оси, как и Земля, так что в моменты съёмки видны разные части поверхности Марса.
- В атмосфере Марса возникают мощные облака, которые видны как тёмные образования на снимках.
- В действительности вид поверхности Марса на разных фотографиях совершенно одинаковый, Марс всегда обращён к Земле одной стороной.
- На Марсе очень сильный вулканизм, из-за чего рельеф успеваает поменяться в промежутке между очередными кадрами.

Точное совпадение ответа — 2 балла.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задания 8-10

Эта картинка — коллаж серии изображений «двойного прохождения», полученных 8 июня 2004 года. На снимках запечатлена Международная космическая станция (МКС) и планета на фоне диска Солнца.



8) Что это за планета?

- Венера
- Марс
- Юпитер
- Сатурн

Точное совпадение ответа — 2 балла.

Решение

При наблюдении с Земли (на что намекает упоминание МКС) по диску Солнца могут проходить только внутренние планеты: Меркурий и Венера. С учётом содержания списка в задании ответ однозначен.

9) «Двойное прохождение» наблюдалось в узкой полосе на Земле в течение весьма непродолжительного времени. Смонтированные кадры снимались с промежутками всего в 0.033 секунды. Определите видимую угловую скорость МКС. Диаметр Солнца составляет около 0.5° . Ответ выразите в градусах за секунду, округлите до целых.

Ответ: 1

Точное совпадение ответа — 5 баллов.

Решение

Всего на картинке 12 изображений МКС, что соответствует 11 интервалам съёмки по 0.033 секунды, а всего 0.363 секунды. Нетрудно заметить, что за время съёмки (0.363 с) МКС пролетает от 50 % до 100 % углового диаметра Солнца. Следовательно, величина угловой скорости заключена между $0.25^\circ : 0.363 \text{ с} \approx 0.7 \text{ }^\circ/\text{с}$ и $0.5^\circ : 0.363 \text{ с} \approx 1.4 \text{ }^\circ/\text{с}$, что при округлении до целых даёт однозначный ответ $\approx 1 \text{ }^\circ/\text{с}$.

10) Почему видимые угловые размеры МКС и планеты оказались сопоставимы?

- МКС гораздо меньше планеты, но при этом гораздо ближе к наблюдателю.
- МКС — величайшее сооружение человечества, имеющее в действительности размеры Меркурия.
- Это оптическое явление, аналогичное искажению форм объектов в потоке воздуха над костром.
- МКС движется столь быстро, что её видимые размеры увеличиваются.

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задания 11-13

Земля обращается вокруг Солнца по круговой орбите с орбитальной скоростью 30 км/с, совершая один оборот за год. Свет в вакууме движется в 10 тысяч раз быстрее, чем Земля по своей орбите.

1 астрономическая единица = 150 млн км.

11) За какое время свет преодолевает расстояние от Солнца до Юпитера? Ответ выразите в секундах, округлите до целых.

Примечание: длина окружности больше её радиуса в $2\pi \approx 6.28$ раз.

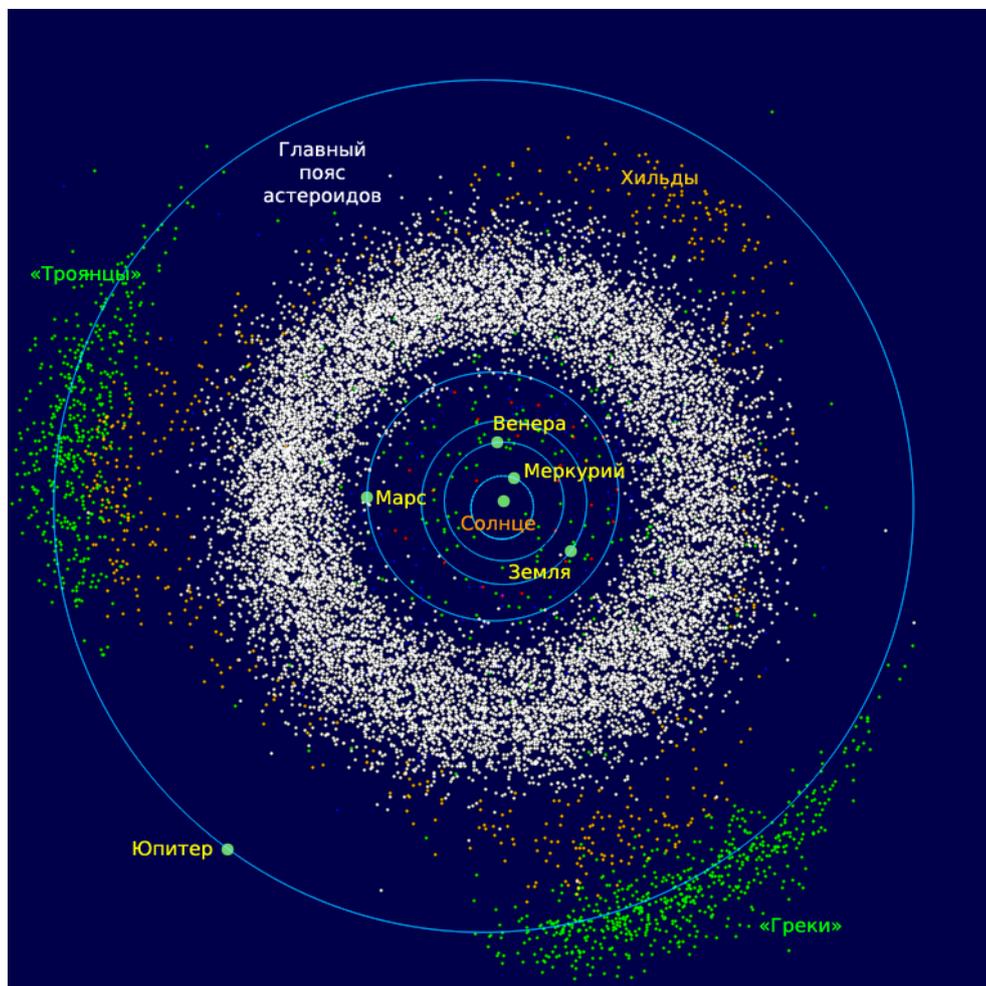
Ответ: засчитывается в диапазоне [2540; 2660]

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Решение

За год, то есть за $365.25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \approx 3.16 \cdot 10^7$ секунд Земля пролетает по орбите расстояние, равное 6.28 а. е. Свет преодолевает такое расстояние в 10 тысяч раз быстрее, то есть за $3.16 \cdot 10^3$ секунд; 1 а. е. — за $3.16 \cdot 10^3 : 6.28 \approx 5.0 \cdot 10^2$ секунд. Радиус орбиты Юпитера в 5.2 раза больше, так что свету нужно в 5.2 раза больше времени.

12) Троянские астероиды Юпитера — это две крупные группы астероидов, каждая из которых вместе с Солнцем и Юпитером образует равносторонний треугольник. Радиус орбиты Юпитера — 5.2 астрономических единицы. Определите минимальное расстояние от Земли до троянцев. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых.



Ответ: 4.2

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Решение

Соответствующее расстояние равно разности расстояний от троянцев до Солнца и от троянцев до Земли.

13) Определите средний период обращения троянцев вокруг Солнца. Ответ выразите в годах, округлите до десятых.

Ответ: 11.8 или 11.9

Точное совпадение ответа — 4 балла.

Решение

Комментарий. По третьему закону Кеплера квадраты периодов обращения объектов вокруг Солнца относятся как кубы радиусов их орбит. Сравниваем орбитальные движения Земли и Юпитера: период обращения Юпитера совпадает с периодом обращения троянцев и равен $\sqrt{5.2^3} \approx 11.9$ лет.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задание 14

Установите соответствие между объектами и их характерными средними плотностями.

Ответ:

Земля	$5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Сатурн	$7 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$
Солнце	$1.4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Вселенная	10^{-26} кг/м^3
Нейтронная звезда	10^{17} кг/м^3

За каждую верную пару — 2 балла

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задания 15-17

Экваториальный наблюдатель заметил, что в 21:00 точно на северо-востоке взошла яркая звезда. При решении этой задачи рефракцией и отличием реального горизонта от математического можно пренебречь.

15) На какой высоте эту звезду возможно было наблюдать той же ночью в 03:00? Ответ выразите в градусах, округлите до целых.

Ответ: 45

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Решение

Суточная параллель звезды на экваторе перпендикулярна горизонту. Звезда движется по своей суточной параллели равномерно. За 6 часов она проходит примерно $6 : 24 = 1/4$ часть окружности и окажется в верхней кульминации. Расстояние от звезды до Северного полюса мира, совпадающего с точкой севера, сохраняется и равно 45° .

16) Определите астрономический азимут этой звезды в 03:00 той же ночи. Ответ выразите в градусах, округлите до целых.

Ответ: 180

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Решение

Звезда в верхней кульминации окажется над точкой севера. Азимут точки севера составляет 180 градусов ровно.

17) Во сколько можно ожидать заход этой звезды на следующий день? Ответ запишите в формате ЧЧ:ММ, округлите до минут.

Ответ: 08:58

Точное совпадение ответа — 4 балла.

Решение

Небесная сфера совершает оборот за звёздные сутки — 23 ч 56 мин, что на 4 минуты меньше солнечных. От восхода до захода светило проходит половину суточной параллели. Предусмотрен небольшой шрам, если участник не различает солнечные и звёздные сутки.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задание 18

Расположите диапазоны электромагнитного излучения в порядке увеличения длины волны.

Ответ:

- Рентгеновское излучение
- Ультрафиолетовое излучение
- Видимое излучение
- Инфракрасное излучение
- Радиоизлучение

Точное совпадение ответа — 10 баллов.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задания 19-21

Луна меньше Земли в 3.6 раза по размеру, при этом легче в 81 раз.

19) Определите среднюю плотность Земли, если средняя плотность Луны составляет 3.4 г/см^3 . Ответ выразите в г/см^3 , округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [5.8; 5.9]

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Решение

Отношение объёмов подобных тел прямо пропорционально кубу отношения их линейных размеров. При этом средняя плотность есть отношение массы к объёму тела. В таком случае отношение плотностей Земли и Луны:

$$\frac{81}{3.6^3} \approx 1.7.$$

Тогда средняя плотность Земли:

$$3.4 \text{ г/см}^3 \cdot 1.7 = 5.8 \text{ г/см}^3.$$

20) Во сколько раз первая космическая скорость для Луны меньше земной? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 4.7

Точное совпадение ответа — 4 балла.

Решение

Первая космическая скорость также именуется круговой. Нетрудно показать, что $v \propto \sqrt{M : R}$, откуда искомое соотношение

$$\sqrt{\frac{81}{3.6}} \approx 4.7.$$

21) Средняя плотность земной коры составляет около 3 г/см^3 . Сделайте вывод:

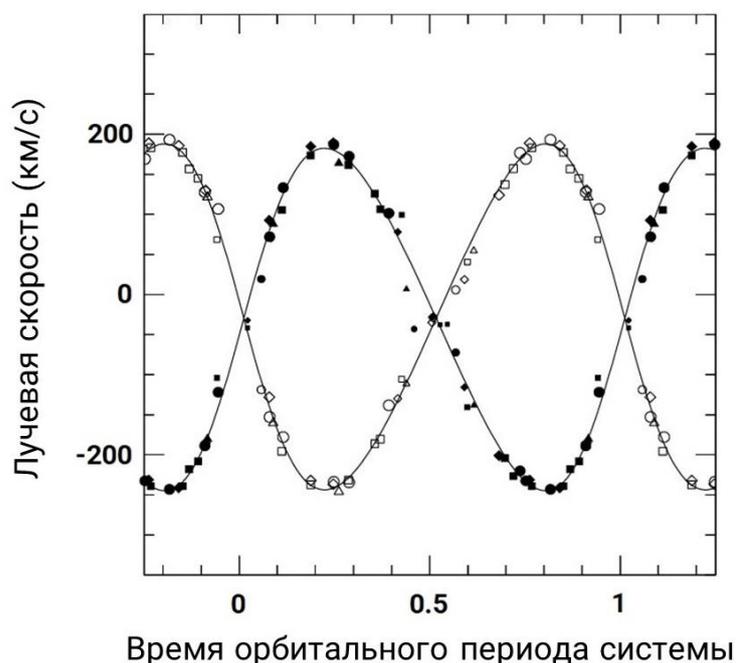
- Земная кора в среднем плотнее мантии и ядра.
- Мантия и ядро в среднем плотнее земной коры.
- Мантия в среднем плотнее ядра Земли.
- Невозможно сделать вывод о распределении массы по средней плотности.

Точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задания 22-23

На графике представлена зависимость лучевых скоростей (проекций скоростей звёзд на луч зрения) компонентов двойной звёздной системы от времени. Чёрные и белые отметки относятся соответственно к одному из двух компонентов системы. По горизонтальной оси отложено время в долях орбитального периода системы, по вертикальной — лучевые скорости компонентов, выраженные в км/с. Для удобства для каждого из рядов данных проведена сглаживающая кривая.



22) Определите амплитуду — половину размаха — колебаний лучевой скорости компонента, которому соответствуют белые отметки. Ответ выразите в км/с, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [210; 220]

Точное совпадение ответа — 2 балла.

23) Как соотносятся между собой массы компонентов системы?

- Массы примерно равны.
- Масса первого вдвое больше массы второго.
- Масса второго вдвое меньше массы первого.
- Масса первого втрое больше массы второго.
- Масса второго втрое меньше массы первого.
- Невозможно определить.

Точное совпадение ответа — 3 балла.

24) Предположим, что плоскости орбит компонентов системы лежат на луче зрения. Период обращения компонентов системы составляет 24 часа. Определите радиус орбиты «белого» компонента относительно центра масс системы. Ответ выразите в миллионах километров, округлите до целых.

Ответ: 3

Точное совпадение ответа — 5 баллов.

Решение

Скорость движения компонента — около 215 км/с. Примерно синусоидальная вариация скорости обусловлена движением по окружности. Оборот по орбите звезда совершает за сутки. За это время она пролетает расстояние $215 \text{ км/с} \cdot 86400 \text{ с} \approx 18.6 \text{ млн км}$. Радиус орбиты в $2\pi \approx 6.3$ раз меньше.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Задание 25

Установите соответствие между физическими и астрономическими величинами и единицами их измерения.

Ответ:

Светимость	Ватт Светимость Солнца
Индукция магнитного поля	Гаусс Тесла
Расстояние	Парсек

За каждую верную пару — 2 балла.

Максимальный балл за задание — 10 баллов.

Максимальное количество баллов — 100.