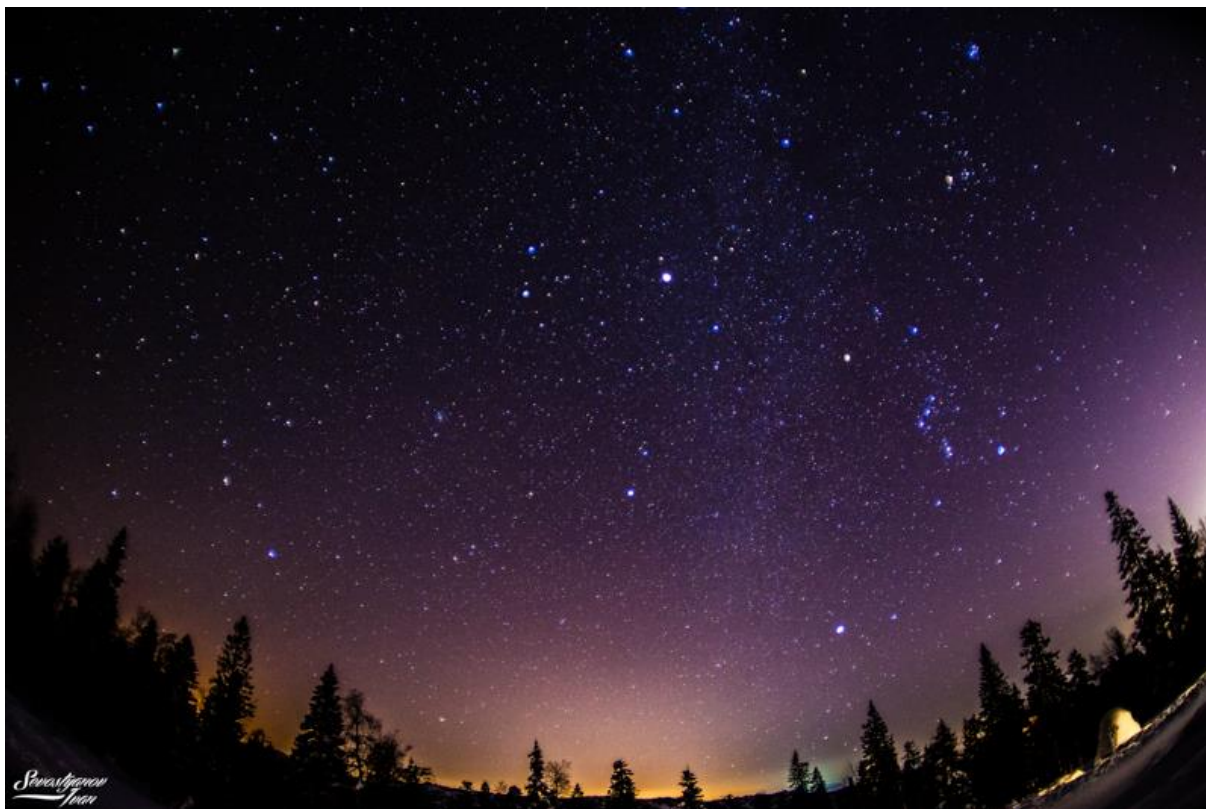


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
АСТРОНОМИЯ. 2024–2025 УЧ. Г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС
ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ
Максимальный балл за работу – 128.

Задачи 1-5

На фотографии представлен участок звёздного неба.



Автор фото Севостьянов Иван

1. Выберите из списка названия созвездий, которые можно найти на фотографии целиком или частично.

- Лев
- Телец
- Большой Пёс
- Лебедь
- Орёл
- Южный Крест
- Близнецы
- Стрелец

Критерии оценивания: +1 балл за каждый верный выбор, –1 балл за каждый ошибочный выбор (сумма баллов не может быть отрицательной).

2. Какие из перечисленных звёзд можно увидеть на фотографии?

- Денеб
- Полярная
- Процион
- Кастор
- Поллукс
- Сириус
- Альдебаран
- Альтаир

Критерии оценивания: +1 балл за каждый верный выбор, –1 балл за каждый ошибочный выбор (сумма баллов не может быть отрицательной).

3. Какие из указанных объектов можно найти на фотографии?

- Плеяды
- Гиады
- Ясли
- Туманность Андромеды
- Туманность Кольцо в Лире
- Туманность Гантель

Критерии оценивания: +2 балла за каждый верный выбор, –2 балла за каждый ошибочный выбор (сумма баллов не может быть отрицательной).

4. Чему равно угловое расстояние от Юпитера до Плеяд? Выберите наиболее близкий к правильному значению ответ. Для справки: длина пояса Ориона примерно 3° .

- Плеяды не видны на кадре.
- Примерно 1°
- Примерно $5,5^\circ$
- Примерно 8°
- Примерно 15°
- Примерно 35°
- Примерно 90°

Критерии оценивания: +4 балла за верный выбор.

5. Укажите Сириус на фотографии.

Ответ:



Критерии оценивания: +4 балла за правильный ответ. Всего 23 балла.

Задача 6

6. Выберите верные факты о Солнце.

- Угловая скорость вращения Солнца не зависит от солнечной широты.
- Расстояние от Солнца до Земли более чем в 200 раз больше радиуса Солнца.
- Солнечные пятна – области поверхности Солнца с пониженной температурой.
- Солнечные пятна – тени сгущений, расположенных в хромосфере.
- Примерно половина массы Солнечной системы сосредоточена в Солнце.
- Возраст Солнца менее 10 млрд лет.
- Температура в центре Солнца больше 10 млн К.
- Финальная стадия эволюции Солнца – чёрная дыра.

Критерии оценивания: +2 балла за каждый верный выбор, –2 балла за каждый ошибочный выбор (сумма баллов не может быть отрицательной). Всего 8 баллов.

Задачи 7-8

На рисунке представлен коллаж, полученный наложением нескольких последовательно сделанных кадров.



Автор фото Владимир Коровяковский

7. Сколько времени прошло между получением первого и последнего изображения Луны? Выберите наиболее близкий к точному ответ. Считать, что Луна находится в точке равноденствия.

- 11 минут
- **17 минут**
- 25 минут
- 48 минут
- 1 час 02 минуты
- 1 час 22 минуты
- 2 часа 00 минут

Критерии оценивания: +4 балла за совпадение ответа.

8. Известно, что длина каждого поднятого пролёта (правого и левого) по измерениям между красными навигационными фонарями, горящими внизу и сверху поднятого пролёта, составляет 18 метров. С какого расстояния были получены снимки? Ответ выразите в километрах и округлите до целого. Считать, что Луна имеет радиус 1740 км и вращается вокруг Земли по круговой орбите радиусом 384 400 км.

Ответ: 1

Критерии оценивания: +6 баллов за совпадение ответа.

Решение:

7. Перемещение Луны по небу во время съёмки происходит в основном из-за суточного вращения Земли, происходящего со скоростью $360^\circ/\text{сутки}$. На это движение накладывается собственное перемещение Луны относительно звёзд (и наблюдателя), направленное в противоположную сторону и происходящее со скоростью $360^\circ / 27,3 \text{ суток}$ (т. е. примерно в 27 раз медленнее суточного). Всего было получено 9 изображений Луны. Угловой диаметр диска Луны равен $\rho_{\text{л}} = 2 \cdot 1740 / 384400 \approx 0,00905 \text{ рад}$ или $0,52^\circ$. Значит, полное смещение Луны за время съёмки – $4,16^\circ$ и оно заняло $4,16 / (360^\circ/\text{сутки}) \approx 0,012 \text{ суток}$ или примерно 16,6 минут. Учёт скорости собственного движения Луны изменит ответ на $1/27$ часть, и им можно пренебречь. Дополнительно можно учесть тот факт, что диски Луны на фотографии не касаются друг друга краями, что незначительно (примерно на 30 секунд) увеличит временной интервал.

8. Используя диск Луны в качестве линейки, определим угловые размеры поднятого пролёта моста. Получится, что размеры диска Луны примерно в 1,6 раза меньше, чем расстояние от лампочки до лампочки. Вычислить угловые размеры пролёта можно разными методами (через тригонометрические функции или с использованием приближения для малых углов). Найдём угловой диаметр Луны: $\rho_{\text{л}} = 2 \cdot 1740 / 384400 \approx 0,00905 \text{ рад}$. Отсюда угловой размер поднятого пролёта:

$$\rho_{\text{п}} = 1,6\rho_{\text{л}} = 1,6 \cdot 0,00905 \approx 0,0145 \text{ рад.}$$

Угловой размер равен отношению линейного размера к расстоянию до предмета $\rho_{\text{п}} = L / D$. Отсюда можно найти ответ на задачу:

$$D = L / \rho_{\text{п}} = 18 / 0,0145 \approx 1240 \text{ м} \approx 1 \text{ км.}$$

Всего 10 баллов.

Задача 9

9. Какие из представленных чисел могут быть радиусом звезды (любого типа)? Выберите все подходящие варианты.

- 10 км
- 10 000 км
- 100 000 км
- 1 000 000 000 км
- 1 000 000 000 000 км

Критерии оценивания: +2 балла за каждый верный выбор, –2 балла за ошибочный выбор.

Решение:

10 километров – это возможный радиус нейтронной звезды, 10 000 километров – это характерный размер белого карлика, 100 000 километров – это примерно в 7 раз меньше нашего Солнца – характерный размер красного карлика (например, Вольф 359), 1 000 000 000 – это радиус звёзд, имеющих размеры примерно в $10^9 / 10^6 = 1000$ раз больше солнечных, т. е. красных сверхгигантов. Звёзд размером в 1 млн радиусов Солнца (более 600 а.е.) не существует.

Всего 8 баллов.

Задачи 10-11

Ниже приведён список экваториальных координат разных объектов, которые наблюдались в верхней кульминации на широте $\varphi = 50^\circ$ с. ш.

$$\alpha=12^{\text{h}}15^{\text{m}}, \delta = -40^\circ$$

$$\alpha=06^{\text{h}}11^{\text{m}}, \delta = -10^\circ$$

$$\alpha=14^{\text{h}}35^{\text{m}}, \delta = +20^\circ$$

$$\alpha=22^{\text{h}}22^{\text{m}}, \delta = +38^\circ$$

$$\alpha=00^{\text{h}}45^{\text{m}}, \delta = +52^\circ$$

$$\alpha=11^{\text{h}}15^{\text{m}}, \delta = +71^\circ$$

$$\alpha=09^{\text{h}}37^{\text{m}}, \delta = +90^\circ$$

10. Расставьте объекты в порядке увеличения их высоты в верхней кульминации.

Ответ:

$$\alpha=12^{\text{h}}15^{\text{m}}, \delta = -40^\circ$$

$$\alpha=06^{\text{h}}11^{\text{m}}, \delta = -10^\circ$$

$$\alpha=09^{\text{h}}37^{\text{m}}, \delta = +90^\circ$$

$$\alpha=14^{\text{h}}35^{\text{m}}, \delta = +20^\circ$$

$$\alpha=11^{\text{h}}15^{\text{m}}, \delta = +71^\circ$$

$$\alpha=22^{\text{h}}22^{\text{m}}, \delta = +38^\circ$$

$$\alpha=00^{\text{h}}45^{\text{m}}, \delta = +52^\circ$$

Критерии оценивания: +8 баллов за верную последовательность.

11. Выберите объекты, верхняя кульминация которых происходит к северу от зенита.

- $\alpha=12^{\text{h}}15^{\text{m}}, \delta = -40^\circ$
- $\alpha=06^{\text{h}}11^{\text{m}}, \delta = -10^\circ$
- $\alpha=14^{\text{h}}35^{\text{m}}, \delta = +20^\circ$
- $\alpha=22^{\text{h}}22^{\text{m}}, \delta = +38^\circ$
- $\alpha=00^{\text{h}}45^{\text{m}}, \delta = +52^\circ$
- $\alpha=11^{\text{h}}15^{\text{m}}, \delta = +71^\circ$
- $\alpha=09^{\text{h}}37^{\text{m}}, \delta = +90^\circ$

Критерии оценивания: +2 балла за каждый верный выбор, –2 балла за каждый ошибочный выбор (оценка за пункт не может быть отрицательной).

Решение:

Запишем формулу для высоты в верхней кульминации $h = 90^\circ - \varphi + \delta$. Отсюда можно выразить широту $\varphi = 90^\circ - h + \delta$ и определить условие кульминации в зените. При $h = 90^\circ$ получим $\varphi = \delta$. Значит, в зените всегда кульминируют звёзды, склонение которых равно широте места наблюдения. При этом, как видно из формулы, при $\delta > \varphi$ высота становится $> 90^\circ$, что означает, что объект кульминирует к северу от зенита на высоте $h = 180^\circ - (90^\circ - \varphi + \delta) = 90^\circ + \varphi - \delta$. Поэтому можно или отсортировать объекты с использованием первой формулы для $\delta < \varphi$ и второй формулы в других случаях, или вычислить зенитные расстояния $z = 90^\circ - h = \varphi - \delta$ (формула работает в обоих случаях), и отсортировать объекты в порядке убывания этой величины.

В итоге вычислений получим следующий ряд высот: $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 78^\circ, 88^\circ, 69^\circ, 50^\circ$, который и надо отсортировать в порядке возрастания. Или ряд зенитных расстояний $90^\circ, 60^\circ, 30^\circ, 12^\circ, 2^\circ, 21^\circ, 40^\circ$, который надо отсортировать в порядке убывания.

Всего 14 баллов.

13. Чему равно склонение Солнца 7 мая?

- 1^h
- 2^h
- 3^h
- 14^h
- 15^h
- -23.5°
- 0°
- $+5^\circ$
- $+17^\circ$
- $+23,5^\circ$

Критерии оценивания: +3 балла за верный выбор.

14. В день проведения олимпиады эклиптическая широта Солнца равна 0° , а эклиптическая долгота – 211° . Чему будет равна эклиптическая широта Солнца через 30 дней? Ответ приведите в градусах и округлите до целого. Движение Солнца по эклиптике считать равномерным.

Ответ: 0

Критерии оценивания: +3 балла за совпадение с ответом.

15. В день проведения олимпиады эклиптическая широта Солнца равна 0° , а эклиптическая долгота – 211° . Чему будет равна эклиптическая долгота Солнца через 20 дней? Ответ приведите в градусах и округлите до целого. Движение Солнца по эклиптике считать равномерным.

Ответ: 231

Критерии оценивания: +5 баллов за совпадение с ответом.

16. Определите по карте, в каком созвездии находится северный полюс эклиптики, т.е. точка, в которой эклиптическая широта равна 90° .

- Дракон
- Малая Медведица
- Орион
- Стрелец
- Рыбы
- Волосы Вероники
- Дева

Критерии оценивания: +3 балла за верный выбор.

Решение:

Т. к. эклиптическая широта отсчитывается от эклиптики, а Солнце всё время находится на ней, то эта координата не меняется со временем. Чтобы вычислить изменение эклиптической долготы надо понимать, что за год

(т. е. примерно за 365,25 суток) Солнце проходит полный круг по эклиптике. Значит, за сутки оно проходит примерно $360 / 365,25$ градусов. Значит, за 20 суток оно пройдёт $20 \cdot 360 / 365,25 \approx 20^\circ$, и его долгота будет равна 231° .

Всего 17 баллов.

Задачи 17-18

Длина окружности Земли, согласно древнегреческому учёному Эратосфену, составляет 250 000 стадиев. 21 июня в городе Асуан Солнце наблюдалось в зените.

17. Город А расположен на том же меридиане, что Асуан. Чему будет равна высота Солнца в момент верхней кульминации 21 июня в городе А, если расстояние от Асуана до города А равно 9700 стадиев? Ответ приведите в градусах и округлите до целых.

Ответ: 76

Критерии оценивания: +8 баллов за совпадение с верным ответом.

18. Город Б расположен на той же параллели, что Асуан. Чему будет равна высота Солнца в момент верхней кульминации в городе Б, если расстояние от Асуана до города Б равно 9700 стадиев?

Ответ: 90

Критерии оценивания: +4 балла за совпадение с верным ответом.

Решение:

17. Город А находится на том же меридиане, значит, его широта отличается от широты Асуана на угол $(9700 / 250000) \cdot 360^\circ \approx 14^\circ$. Т. к. в Асуане Солнце находится в этот день в зените, то в городе А оно будет отстоять от зенита на 14° и иметь высоту $90^\circ - 14^\circ = 76^\circ$.

18. Город Б находится на той же параллели, что и Асуан. Значит, он имеет ту же широту. Это означает, что высота Солнца в верхней кульминации в нём будет такой же, как в Асуане – 90° .

Всего 12 баллов.

Задачи 19-21

На рисунке представлена фотография участка неба с выделенным астеризмом и множеством метеоров.



<https://omskinform.ru/news/196050>

19. Какому созвездию принадлежит выделенный астеризм?

- Орион
- Лебедь
- **Кассиопея**
- Близнецы
- Лев
- Пегас
- Жираф
- Нужное название отсутствует в списке

Критерии оценивания: +2 балла за верный выбор.

20. Как называется поток, метеоры которого зарегистрированы на снимке?

- Квадрантиды
- Ориониды
- **Персеиды**
- Леониды
- Каприкорниды
- Аквариды

Критерии оценивания: +2 балла за верный выбор.

21. Как называется область неба, из которой, как нам кажется, вылетают метеоры этого потока?

- **Радиант**
- Радиан
- Апекс
- Апоцентр
- Рудимент

Критерии оценивания: +2 балла за совпадение с ответом. Всего 6 баллов.

Задачи 22-25

Предположим, что у нашей планеты появился второй естественный спутник Луна-2, полностью похожий на Луну, но расположенный в 2,5 раза дальше. Считать, что орбиты всех тел круговые, лежат в одной плоскости и обращаются в одну сторону. Период обращения Луны вокруг Земли равен 27,3 суток, период обращения Земли вокруг Солнца считать равным 365,26 суток.

22. Чему равен период обращения нового спутника вокруг Земли? Ответ выразите в сутках и округлите до целых.

Ответ: 108

Критерии оценивания: +6 баллов за совпадение с ответом.

23. Какой должен быть период вращения вокруг своей оси у Луны-2, чтобы жители Земли всегда видели только одну и ту же половину спутника? Ответ выразите в сутках и округлите до целых.

Ответ: 108

Критерии оценивания: +4 баллов за совпадение с ответом.

24. Чему равен период смены фаз у Луны-2? Ответ выразите в сутках и округлите до целых.

Ответ: 153

Критерии оценивания: +6 баллов за совпадение с ответом.

25. Какой блеск будет иметь Луна-2 во время своего полнолуния, если блеск Луны в полнолуние равен $m_{\text{л}} = -12,5$? Ответ округлите до десятых. Изменением расстояния до Солнца можно пренебречь.

Ответ: $-10,5$

Критерии оценивания: +6 баллов за совпадение с ответом.

Решение:

22. Так как и Луна-2, и Луна обращаются вокруг Земли, то мы можем применить третий закон Кеплера $\frac{T_L^2}{a_L^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$. В нём T_L – период обращения Луны (27,3 суток), а a_L – радиус её орбиты, T_2 – период обращения Луны-2 (искомая величина), а $a_2 = 2,5a_L$ – радиус её орбиты. Тогда

$$T_2 = \sqrt{\frac{T_L^2 a_2^3}{a_L^3}} = \sqrt{2,5^3 27,3^2} = 108 \text{ суток.}$$

23. Чтобы с Земли была постоянно видна одна и та же часть Луны-2, нужно, чтобы угловая скорость обращения Луны-2 вокруг Земли совпадала с угловой скоростью обращения Луны-2 вокруг своей оси. Т.е. период вращения вокруг своей оси должен быть равен периоду обращения вокруг Земли, а именно 108 суток.

24. Период смены лунных фаз – это синодический период. Используем формулу вычисления синодического периода:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_{\oplus}}$$
$$S = \frac{T_2 T_{\oplus}}{T_{\oplus} - T_2} = \frac{108 \cdot 365,26}{365,26 - 108} \approx 153$$

25. Блеск Луны-2 по сравнению с Луной изменится по двум причинам: 1) из-за разного расстояния от Солнца и 2) из-за разного расстояния от Земли. Первой причиной можно пренебречь. Из-за второй причины количество света, приходящее от Луны-2, уменьшится в $(a_2 / a_L)^2$ раз, т.е. в 6,25 раза. Такому изменению соответствует разность звёздных величин $2,5 \lg 6,25 \approx 2$. Значит, блеск Луны-2 будет $-12,5 + 2 = -10,5^m$.

Всего 22 балла.

Задачи 26-27

Одним из самых важных инструментов исследования нашей Вселенной является спектроскопия. При наблюдении некоторой одиночной звезды удалось измерить длину волны линии $H\alpha$ в её спектре. Она оказалась равна 656,70 нм, тогда как её лабораторная длина волны равна 656,28 нм.

26. Звезда приближается к нам или удаляется от нас?

- Приближается
- Удаляется
- Не хватает данных для ответа

Критерии оценивания: +2 балла за верный выбор.

27. Чему равна лучевая скорость этой звезды? Ответ выразите в километрах в секунду и округлите до целых. Скорость света считать равной 300 000 км/с.

Ответ: 192

Критерии оценивания: +6 баллов за совпадение с ответом.

Решение:

Смещение линии относительно её лабораторной длины волны происходит благодаря эффекту Доплера. Увеличение длины волны означает, что звезда от нас удаляется. Рассчитаем скорость, с которой она удаляется, через формулу для эффекта Доплера:

$$\frac{\lambda_{\text{наблюдаемая}} - \lambda_{\text{лабораторная}}}{\lambda_{\text{лабораторная}}} = \frac{V}{c},$$

где V это лучевая скорость, c – скорость света. Выразим отсюда лучевую скорость и подставим значения:

$$V = \frac{656,7\text{нм} - 656,28\text{нм}}{656,28\text{нм}} \cdot 300000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 192 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Всего 8 баллов.

Максимальный балл за работу – 128.