

## Максимальное количество баллов за олимпиаду — 100

Задания 1-3. Дан фрагмент звёздной карты.



1а) Какое созвездие представлено в центральной части фрагмента?

Ответ:

- Волопас
- Андромеда
- Дева
- ✓ Лев
- Козерог
- Овен
- Кассиопея
- Стрелец

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

1б) Дуга какого большого круга (отмечена на рисунке пунктирной линией) пересекает данное созвездие?

Ответ:

- Математический горизонт
- Небесный горизонт
- Небесный экватор
- ✓ Эклиптика
- Первый вертикал
- Колнур равноденствий
- Колнур солнцестояний

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

2) Расположите звёзды созвездия в порядке уменьшения их яркости.

Ответ:

- ✓ Регул
- ✓ Денебола
- ✓ Альгенуби
- ✓ Звезда  $\mu$

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл. Всего — 4 балла

3) Сколько объектов каталога Мессье расположено в пределах данного созвездия?

Ответ: 5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 10



6) На каком круге для жителя Земли день всегда равен ночи? Рефракцию света и временные эффекты не учитывать. **Ответ:**

- $aa'$
- $bb'$
- ✓  $qq'$
- $cc'$
- $dd'$

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

7) С любой точки какого круга невозможно в принципе наблюдение Канопуса (склонение:  $-53^\circ$ , прямое восхождение:  $6^h24^m$ ) — ярчайшей звезды созвездия Киль?

**Ответ:**

- ✓  $aa'$
- $bb'$
- $qq'$
- $cc'$
- $dd'$

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

8) Расположите объекты в порядке возрастания их линейной скорости суточного вращения.

**Ответ:**

- ✓  $P_N$
- ✓  $aa'$
- ✓  $bb'$
- ✓  $qq'$

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 1 балл. Всего — 4 балла

**Максимальный балл за задание — 12**

**Решение.**

4) Малый круг земного шара, точки которого отстоят от Южного географического полюса на  $23^\circ26'$ , называется *южным полярным кругом*.

5) 20-21 июня, в день летнего солнцестояния, Солнце располагается в северной полусфере небосвода, а его склонение достигает максимального положительного значения —  $+23^\circ26'$ . В эти сутки Солнце будет в зените над точками малого круга земного шара, широта которых равна  $+23^\circ26'$ , т. е. в точках круга  $bb'$ .

6) День всегда равен ночи, если в любые сутки суточная параллель Солнца делится математическим горизонтом пополам. Это возможно, если все параллели и, как следствие, небесный экватор перпендикулярны горизонту. Тогда ось мира должна располагаться в плоскости горизонта, что достигается лишь на экваторе  $qq'$ .

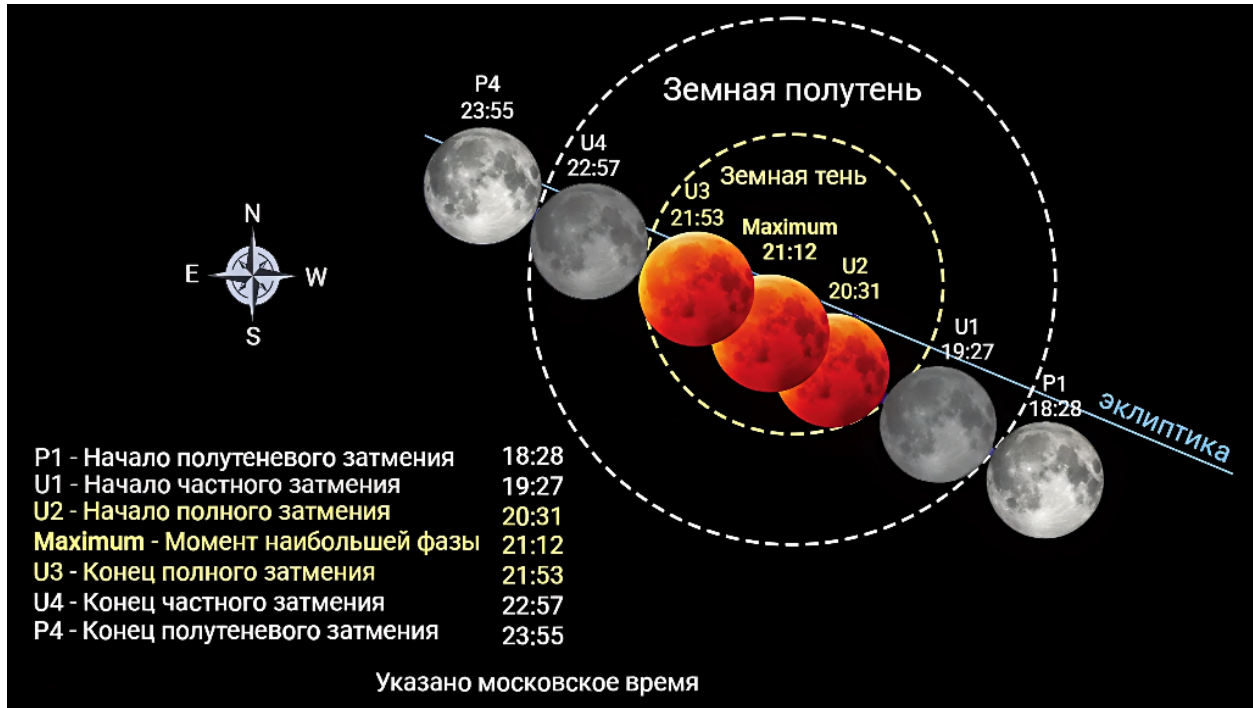
7) Круг  $aa'$  располагается на широте  $\phi = +66^\circ34'$ . Чтобы звезда в принципе была видна над горизонтом, её зенитное расстояние в верхней кульминации не должно превышать  $90^\circ$ . Проверим выполнение условия:

$$z = |\phi - \delta| = | +66^\circ34' + 53^\circ | = 119^\circ34' > 90^\circ.$$

Данное условие не выполняется, значит, из точек малого круга  $aa'$  наблюдение Канопуса невозможно в принципе.

8) Все точки земного шара совершают суточное вращение с одной угловой скоростью  $\omega_3$ . При этом линейная скорость точек определяется формулой  $V = \omega_3 \cdot r$ , где  $r$  — расстояние от оси вращения земного шара до его заданной точки. Из последнего выражения следует, что чем дальше точка от оси вращения, тем больше её линейная скорость. Следовательно, имеем последовательность  $P_N \rightarrow aa' \rightarrow bb' \rightarrow qq'$ .

Задания 9-11. Дана схема полного лунного затмения 7 сентября 2025 года.



9а) С какого полушария Земли можно наблюдать лунное затмение?

Ответ:

- С дневного
- ✓ С ночного
- Невозможно однозначно ответить

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 1 балл

9б) В какой фазе находилась Луна в момент затмения?

Ответ:

- Новолуние
- Молодой растущий месяц
- Первая четверть
- Убывающая выпуклая Луна
- ✓ Полнолуние
- Растущая выпуклая Луна
- Последняя четверть
- Старый убывающий месяц

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 1 балл

10) Определите продолжительность фазы полного теневого затмения. Ответ выразите в минутах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [81; 83]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

11) В каком созвездии располагалась Луна в сутки затмения?

Ответ:

- Овен
- Телец
- Близнецы
- Рак
- Лев
- Дева
- Весы
- Скорпион
- Змееносец
- Стрелец
- Козерог
- ✓ Водолей
- Рыбы

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

**Максимальный балл за задание — 7**

**Решение.**

9а) Лунное затмение возможно лишь при попадании Луны в конус земной тени. Последняя всегда располагается в противоположном направлении по отношению к Солнцу. Значит, наблюдение затмения возможно лишь с ночного полушария Земли.

9б) Поскольку Луна в момент затмения располагается в диаметрально противоположной Солнцу точке небосвода, данное событие наблюдается в фазе полнолуния.

10) Продолжительность фазы полного теневого затмения определяется разностью моментов начала ( $U_2$ ) и окончания ( $U_3$ ) данной фазы затмения:  $21 : 53 - 20 : 31 = 82$  минуты.

11) 7 сентября Солнце располагалось в созвездии Льва. Значит, Луна должна располагаться в диаметрально противоположном зодиакальном созвездии — Водолее. В силу близости противосолнечной точки и близкого соседства Водолея и Рыб последнее также засчитывается в качестве верного ответа.

**Задания 12-15.** На фотографии представлены Луна, Венера и Марс.



12) Установите соответствие между обозначениями и объектами.

**Ответ:**

1	Луна
2	Венера
3	Марс

**Критерий оценивания:** за каждую верную пару — 1 балл. Всего — 3 балла

13) Сколько суток прошло от новолуния до момента получения фотографии, если последняя сделана в Северном географическом полушарии вечером, вскоре после захода Солнца?

**Ответ:**

- ✓  $0 \div 5$  суток
- $6 \div 10$  суток
- $11 \div 15$  суток
- $16 \div 20$  суток
- $21 \div 25$  суток
- $26 \div 30$  суток

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

14) В окрестности какой конфигурации находилась Венера в момент съёмки, если при этом вектор её орбитальной скорости был направлен строго на земного наблюдателя?

**Ответ:**

- ✓ Максимальная восточная элонгация
- Противостояние
- Западная квадратура
- Верхнее соединение
- Восточная квадратура
- Соединение
- Нижнее соединение
- Максимальная западная элонгация

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

15) Оцените угловое расстояние между Луной и Венерой. Ответ выразите в угловых минутах, округлите до целых. В момент съёмки Луна (радиус 1738 км) располагалась на среднем расстоянии (384400 км) от Земли. Землю считайте материальной точкой.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [90; 110]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

**Максимальный балл за задание — 10**

**Решение.**

12) Под цифрой 1 — Луна (единственный неточечный объект), 2 — Венера (поскольку это третий по яркости объект после Солнца и Луны), 3 — Марс.

13) На фотографии виден узкий серп Луны. Поскольку фотография сделана в Северном географическом полушарии вечером, вскоре после захода Солнца, после новолуния прошло не более 3-5 суток, значит, правильный ответ —  $0 \div 5$  суток.

14) Если в момент съёмки вектор орбитальной скорости Венеры был направлен строго на земного наблюдателя и при этом по касательной к траектории планеты, угол между направлениями на Солнце и на Землю с вершиной в центре Венеры должен быть равен  $90^\circ$ . При этом Венера должна располагаться к востоку относительно Солнца. Описанной ситуации отвечает конфигурация *максимальной восточной элонгации*.

15) Согласно условию задачи, в момент съёмки Луна располагалась на среднем расстоянии от Земли. Определим её угловой диаметр:

$$D_{\text{Л}} = \frac{2R_{\text{Л}}}{r} \cdot 3438' = 31'.$$

Измерим на фотографии линейный диаметр Луны — 21 мм. Тогда угловой масштаб фотографии есть

$$\mu = \frac{31'}{21 \text{ мм}} = 1.48' / \text{мм}.$$

Измерим расстояние между Луной и Венерой на фотографии —  $L = 68$  мм. Тогда искомое угловое расстояние есть

$$\psi = \mu \cdot L = 100'.$$

**Задания 16-19.** Дана карта России с указанием географических координат, часовых поясов и часовых зон.



16) Расположите города России в порядке наступления в них рассвета.

**Ответ:**

- ✓ Анадырь
- ✓ Якутск
- ✓ Сургут
- ✓ Самара
- ✓ Москва
- ✓ Калининград

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 1 балл. Всего — 6 баллов

17) На сколько часов отличаются часовые углы одной и той же звезды, наблюдаемой в один и тот же момент времени в Санкт-Петербурге и Магадане? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 8

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

18) Чему равно административное время в Екатеринбурге, если всемирное время в тот же момент равно  $T_0 = 12^{\text{h}}00^{\text{m}}$ ? Ответ запишите в формате ЧЧ:ММ. Известно, что административное время Москвы  $T_M = T_0 + 3^{\text{h}}$ .

**Ответ:** 17:00

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

19) На сколько градусов отличаются значения высоты Солнца в моменты его верхней кульминации в день летнего солнцестояния в Ижевске и Сыктывкаре? Ответ округлите до десятых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [3.8; 5.8]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

**Максимальный балл за задание — 13**

**Решение.**

16) Суточное вращение земного шара совершается с запада на восток. Следовательно, чем восточнее точка поверхности Земли, тем раньше здесь наступит рассвет. Приходим к следующей последовательности: Анадырь → Якутск → Сургут → Самара → Москва → Калининград.

17) В астрометрии справедливо утверждение: *разность часовых углов одного и того же небесного тела, наблюдаемого одновременно с двух точек поверхности Земли, равна разности географических долгот этих точек.* Долгота Магадана составляет  $150^\circ$ , а долгота Санкт-Петербурга —  $30^\circ$ . Значит, разность долгот будет равна  $120^\circ$ , разность часовых углов — 8 часов. Здесь учтено, что 1 час соответствует  $15^\circ$ .

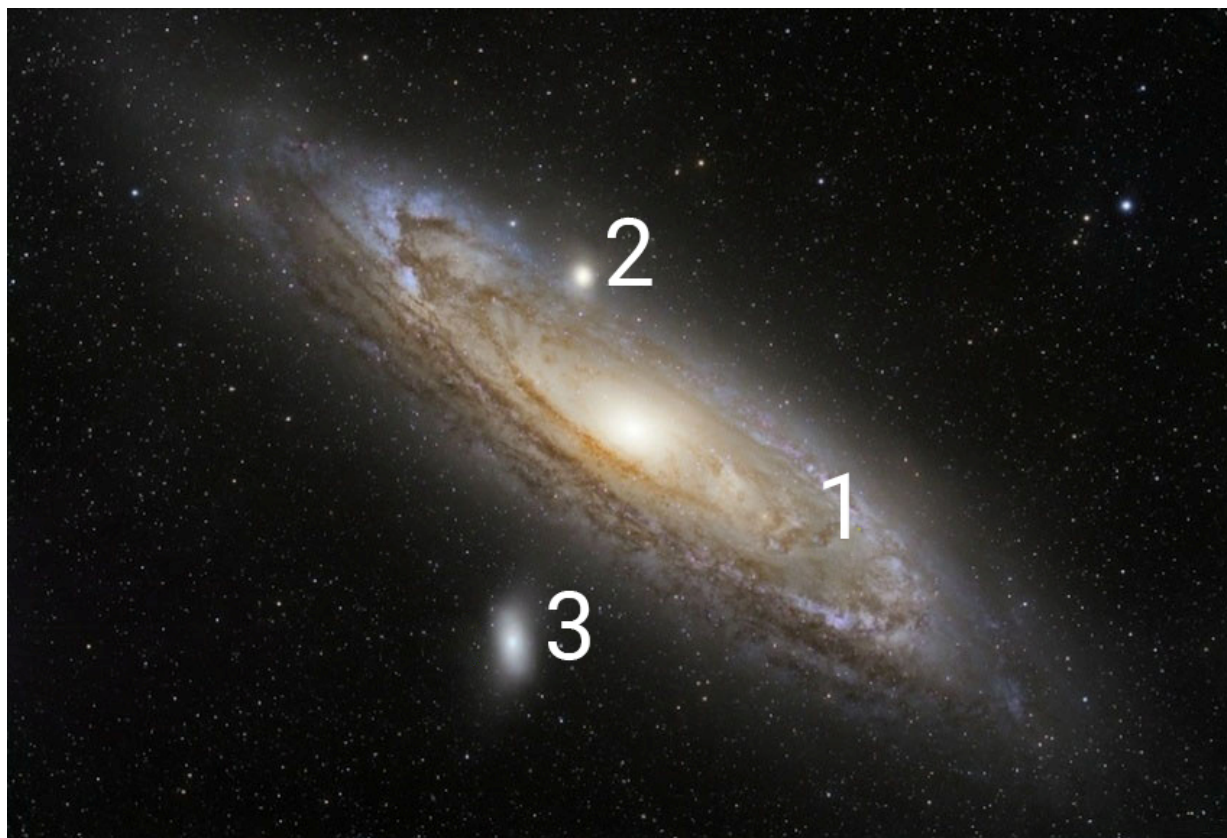
18) Если всемирное время в данный момент равно  $T_0 = 12^{\text{h}}00^{\text{m}}$ , то административное время Москвы в тот же момент  $T_M = T_0 + 3^{\text{h}} = 15^{\text{h}}00^{\text{m}}$ . Согласно карте, Екатеринбург располагается в часовой зоне, где административное время на 2 часа опережает московское. Значит, административное время в Екатеринбурге в тот же момент —  $17^{\text{h}}00^{\text{m}}$ .

19) Разность высот Солнца в полдень в Ижевске и Сыктывкаре равна разности их географических широт:

$$h_{И} - h_{С} = (90^\circ - \varphi_{И} + \delta_{\odot}) - (90^\circ - \varphi_{С} + \delta_{\odot}) = \varphi_{С} - \varphi_{И} = 61.8^\circ - 57.0^\circ = 4.8^\circ.$$

При записи последнего результата значения широты данных городов были определены по карте.

**Задания 20-23.** Дано изображение некоторых объектов глубокого космоса.



20) Какие типы объектов отчётливо видны на данной фотографии?

**Ответ:**

- Комета
- Астероид
- Планета
- ✓ Звезда
- Чёрная дыра
- Рассеянное звёздное скопление
- Шаровое звёздное скопление
- ✓ Галактика

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 1 балл. Всего — 2 балла.

За каждую ошибку снимается 1 балл.

21) Какой звёздной системе принадлежат многочисленные яркие объекты, не обозначенные номерами на изображении?

**Ответ:**

- Туманность Андромеды
- Большое Магелланово Облако
- Туманность Треугольника
- Малое Магелланово Облако
- Галактика Боде
- Галактика Сигара
- Галактика Водоворот
- ✓ Млечный Путь

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

22) Установите соответствие между номерами объектов и их кодовыми обозначениями в каталоге Мессье.

В этом задании используются не все варианты ответа из правого столбца. Неиспользованные варианты приведены в последней ячейке таблицы

Ответ:

1	М 31
2	М 32
3	М 110
	М 1
	М 13
	М 20
	М 77
	М 98

**Критерий оценивания:** за каждую верную пару — 1 балл. Всего — 3 балла

23) Как известно, диаметр самого крупного из изображённых объектов глубокого космоса составляет 47 кпк, а расстояние до него — около 800 кпк. Под каким максимальным углом земной наблюдатель видит данный объект? Ответ выразите в градусах, округлите до десятых.

Ответ: 3.4

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

**Максимальный балл за задание — 10**

**Решение.**

20) На данной фотографии отчётливо видны лишь два типа объектов: звёзды и галактики.

21) Многочисленными яркими объектами, не обозначенными номерами на изображении, являются звёзды. Очевидно, все они принадлежат Млечному Пути, поскольку звёзды других звёздных систем (галактик) не смогут быть разрешены на столь широком поле зрения в силу их исключительной тусклости.

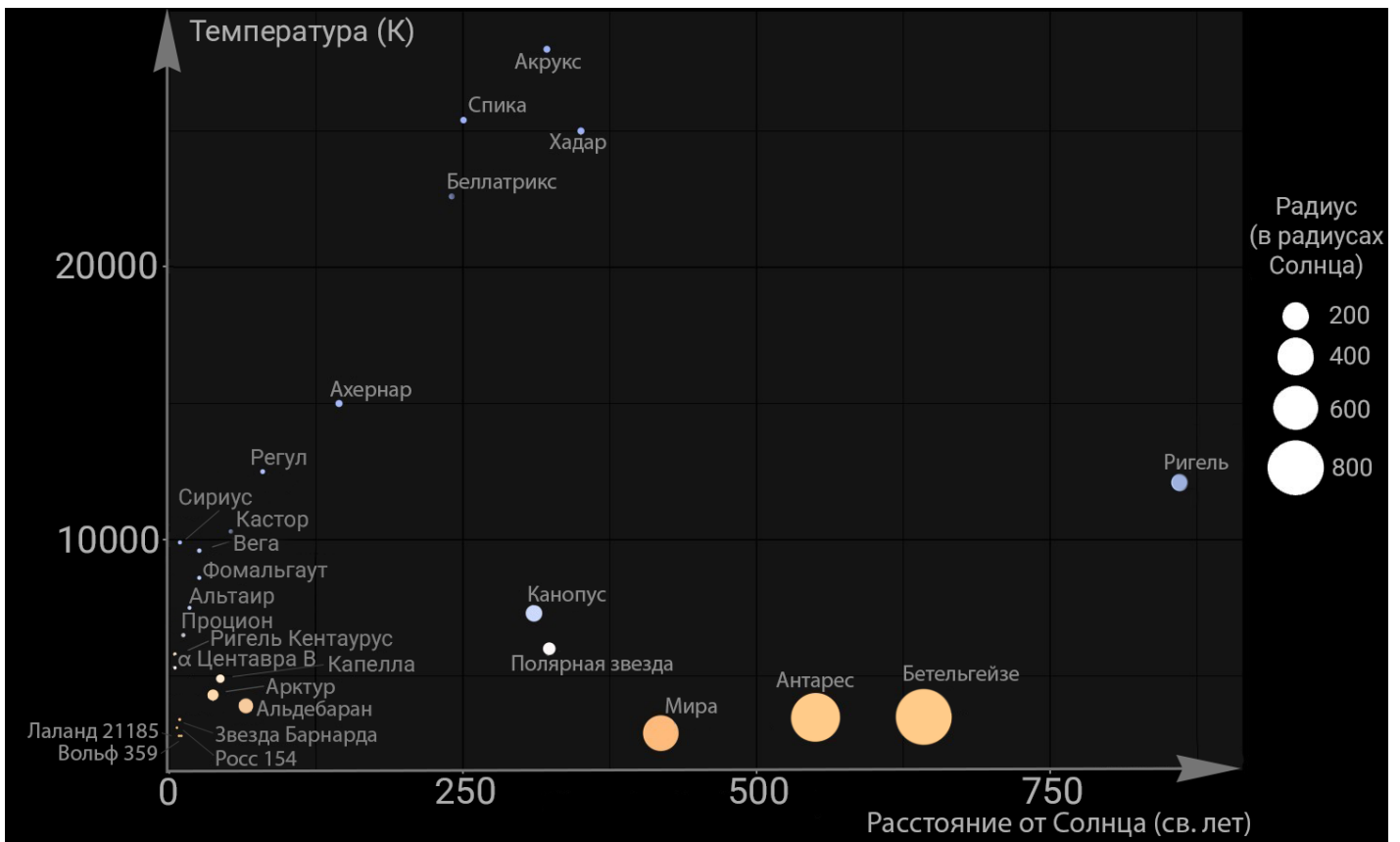
22) На изображении под номером 1 представлена Туманность Андромеды (М 31 в каталоге Мессье). Номер 2 — эллиптическая галактика М 32, спутница Андромеды. Номер 3 — галактика М 110, ещё одна спутница Туманности.

23) Максимальный угловой размер Туманности Андромеды можно определить по формуле:

$$\Psi_{\max} = \frac{D}{r} \cdot 57.3^\circ = 3.4^\circ,$$

где  $D$  — диаметр Туманности Андромеды,  $r$  — расстояние до неё.

**Задания 24-27.** Дана диаграмма распределения ярчайших звёзд земного небосвода и ближайших к Солнцу по температуре и гелиоцентрическому расстоянию.



24) Какая из этих звёзд является наиболее удалённой от Солнца?

**Ответ:**

- ✓ Ригель
- Бетельгейзе
- Хадар
- Беллатрикс
- Мира
- Полярная звезда
- Альдебаран
- Вольф 359

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

25) Расположите звёзды в порядке возрастания их температур.

**Ответ:**

- ✓ Мира
- ✓ Полярная
- ✓ Фомальгаут
- ✓ Регул
- ✓ Ахернар
- ✓ Спика

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 1 балл. Всего — 6 баллов

26) *Поверхностной светимостью источника* называется скалярная физическая величина, равная количеству энергии, излучаемой единичной площадкой поверхности источника за единицу времени во всех направлениях. Данная величина пропорциональна четвёртой степени температуры поверхности звезды. Во сколько раз поверхностная светимость Веги больше поверхностной светимости Солнца? Ответ округлите до десятых. Температура поверхности Солнца равна 6000 К.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [5.1; 7.7]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

27) Во сколько раз площадь «поверхности» звезды Антарес больше соответствующей величины Солнца? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [360000; 640000]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

**Максимальный балл за задание — 14**

**Решение.**

24) Согласно диаграмме, наиболее удалённой от Солнца звездой является Ригель.

25) На данной диаграмме вдоль оси ординат отложена шкала температуры. Чем выше звезда на данной шкале, тем выше её температура. Приходим к следующей последовательности: Мира → Полярная → Фомальгаут → Регул → Ахернар → Спика.

26) Поскольку поверхностная светимость пропорциональна 4-й степени температуры, отношение данных величин для Веги и Солнца имеет вид:

$$\frac{M_B}{M_\odot} = \left(\frac{T_B}{T_\odot}\right)^4 = 6.6.$$

Здесь температура Веги  $T_B = 9600$  К, согласно диаграмме.

27) Согласно диаграмме, радиус Антареса составляет приблизительно 700 радиусов Солнца. Площадь «поверхности» звезды Антарес больше соответствующей величины Солнца в следующее количество раз:

$$k = \frac{S_A}{S_\odot} = \left(\frac{R_A}{R_\odot}\right)^2 = 490000.$$

Здесь учтено, что площадь поверхности шара радиуса  $R$  есть  $S = 4\pi R^2$ .

**Задания 28-29.** В астрофизике *физически двойными звёздами* называют системы из двух звёзд, связанных между собой гравитацией, движущихся вокруг общего центра масс и образующих устойчивую физическую систему. Примерно 32.1% из 200 млрд звёзд нашей Галактики являются компонентами таких систем. Если же в составе 3 звезды и более, то используется термин *кратная система звёзд*. Статистические исследования показывают, что количество звёзд со степенью кратности  $n$  в 4 раза меньше, чем звёзд со степенью  $n - 1$ .

Таким образом, можно записать закон для количества  $N_n$  кратных звёзд:

$$N_n = \frac{N_2}{4^{n-2}},$$

здесь  $N_2$  — количество двойных звёзд в нашей Галактике.

**28)** Определите общее количество  $N_2$  двойных звёзд в нашей Галактике. Ответ выразите в миллиардах, округлите до десятых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [32.0; 32.2]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

**29)** Определите общее количество  $N_3$  кратных звёзд кратности  $n = 3$  в нашей Галактике. Ответ выразите в миллиардах, округлите до десятых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [7.9; 8.1]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 4 балла

**Максимальный балл за задание — 7**

**Решение.**

**28)** Согласно условию задачи, 32.1% из 200 млрд звёзд нашей Галактики, т. е. 64.2 млрд, являются компонентами физически двойных звёзд. Значит, количество таких пар должно составлять  $N_2 = 64.2 : 2 = 32.1$  млрд.

**29)** Найдём количество кратных звёзд кратности  $n = 3$  по формуле:  $N_3 = N_2 : 4 = 8.0$  млрд.

**Задания 30-31.** На рисунке представлены эллиптические орбиты компонентов двойной звезды.



**30)** Используя рисунок, определите отношение масс  $M_1/M_2$  компонентов двойной системы, если выполняется универсальное соотношение вида:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{r_2}{r_1},$$

где  $r_1, r_2$  — расстояния от центра масс до центров звёзд 1 и 2 соответственно. Ответ округлите до десятых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [1.3; 1.7]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 4 балла

31) Светимость звезды зависит от её массы:

$$L = \gamma \cdot M^4,$$

здесь  $\gamma$  — коэффициент пропорциональности. Чему равно отношение светимостей  $L_1/L_2$  данных звёзд? Ответ округлите до десятых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [2.8; 8.4]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 3 балла

**Максимальный балл за задание — 7**

**Решение.**

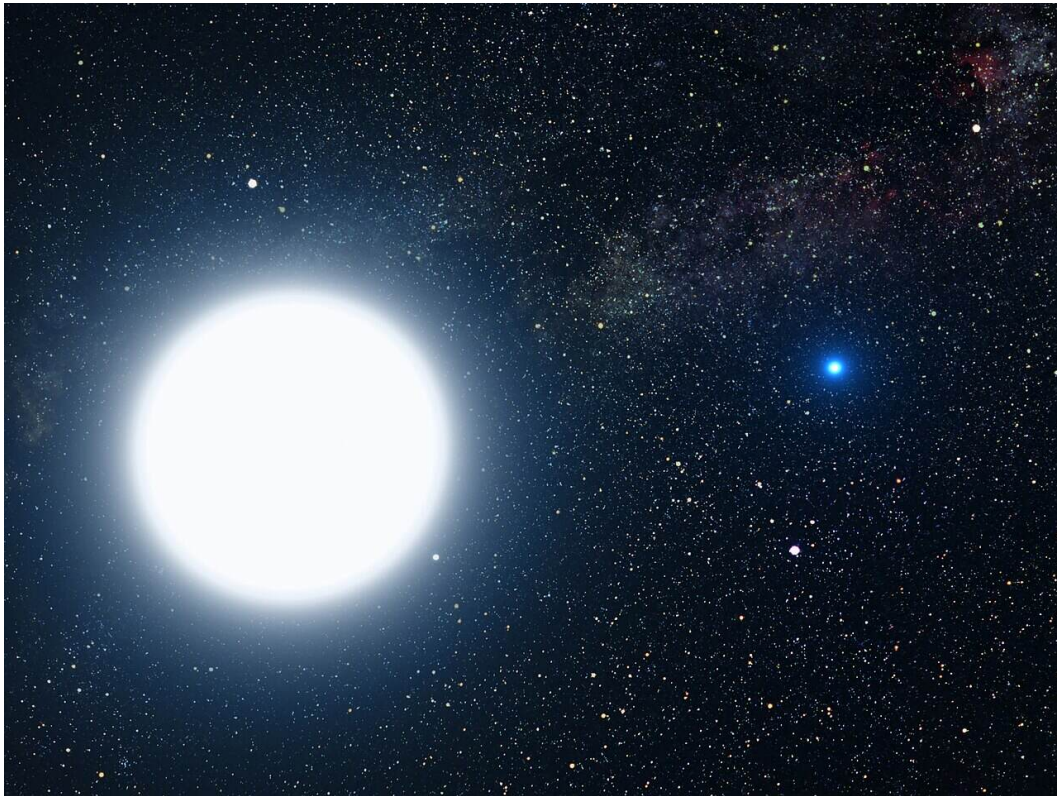
30) По рисунку определим видимые расстояния от центров данных звёзд до центра их масс:  $x_1 = 65$  мм,  $x_2 = 97$  мм. При любой ориентации орбит по отношению к наблюдателю отношение видимых расстояний равно отношению действительных расстояний от компонентов до их общего центра масс, тогда

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{x_2}{x_1} = 1.5.$$

31) Вычислим отношение светимостей компонентов двойной звезды:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^4 = 5.1.$$

**Задания 32-34.** Дано изображение двойной звезды Сириус (Сириус А и Сириус В) — самой яркой звезды на ночном небосводе.



32) *Эффект Доплера* — изменение частоты (длины волны) излучения, воспринимаемое наблюдателем (приёмником) вследствие движения источника излучения относительно наблюдателя. В случае объекта, скорость которого направлена в сторону от наблюдателя, длина волны увеличивается и спектральные линии смещаются в красную область спектра. В противном случае длина волны уменьшается и линии смещаются в синюю область.

К какому краю спектра будут смещаться линии компоненты Сириус В, если компонента Сириус А в данный момент приближается к земному наблюдателю?

**Ответ:**

- ✓ К красной части видимого спектра излучения
- К фиолетовой части видимого спектра излучения
- В данном случае никуда не смещаются, поскольку центр масс звезды неподвижен
- Линии в спектре звезды в данный момент совершают регулярные высокочастотные колебания между красной и фиолетовой частями спектра излучения

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 2 балла

**33)** Компоненты данной двойной звезды обращаются вокруг общего центра масс с периодом  $T = 50$  лет. Сириус  $A$  имеет массу, равную  $M_1 = 1.6 \cdot M_\odot$ , а Сириус  $B$  —  $M_2 = 1.4 \cdot M_\odot$ , здесь  $M_\odot$  — масса Солнца. Найдите среднее расстояние между компонентами двойной системы. Ответ выразите в а. е., округлите до десятых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [19; 21]

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 4 балла

**34)** Во сколько раз компонента Сириус  $A$  ярче Сириуса  $B$ , если при получении изображения Сириуса  $A$  необходима выдержка 0.5 секунды, а соответствующая величина для изображения Сириуса  $B$  — 5000 секунд? Ответ округлите до целых. При фотографировании использовались одинаковые настройки фотокамеры.

**Ответ:** 10000

**Критерий оценивания:** точное совпадение ответа — 4 балла

**Максимальный балл за задание — 8**

**Решение.**

**32)** Центры масс компонент физически двойной системы и их общий центр масс всегда располагаются на одной прямой. Если компонента Сириус  $A$  в данный момент приближается к земному наблюдателю, то компонента Сириус  $B$  будет от него удаляться. Значит, линии Сириус  $B$  будут смещаться к красной части видимого спектра излучения.

**33)** Воспользуемся третьим обобщённым законом Кеплера:

$$\frac{(M_1 + M_2)T^2}{(M_\odot + M_\oplus)T_\oplus^2} = \frac{a^3}{a_\oplus^3}, \quad \Rightarrow \quad a \approx a_\oplus \left( \frac{(M_1 + M_2)T^2}{M_\odot T_\oplus^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 19.6 \text{ а. е.},$$

Здесь  $M_1, M_2, T$  — массы компонент и их период обращения,  $M_\odot$  — масса Солнца,  $a_\oplus, T_\oplus, M_\oplus$  — большая полуось земной орбиты, сидерический период обращения Земли вокруг Солнца и масса данной планеты соответственно.

**34)** Для получения изображения звезды необходимо определённое количество световой энергии ( $W$ ). Последняя величина пропорциональна светимости этой звезды ( $E$ ), площади рабочей поверхности сенсора ( $S$ ) и времени выдержки сенсора в режиме приёмника излучения ( $t$ ):

$$W = E \cdot S \cdot t, \quad \Rightarrow \quad E = \frac{W}{S \cdot t}.$$

Найдём отношение освещённостей, создаваемых компонентами двойной звезды у поверхности приёмника излучения:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{t_2}{t_1} = 10000.$$

Здесь учтено, что по условию  $W_1 = W_2$  и что  $S_1 = S_2$ , поскольку использовалась одна и та же фотокамера с одинаковыми настройками.