

**Задания и решения**  
**2-го дистанционного этапа**  
**Московской астрономической олимпиады**  
**2024–2025 уч. г.**  
**10-11 классы**

**Задание 1**

Звезда достигает наибольшей высоты в зените, а наименьшей — на высоте  $h_n$ . На какой широте северного полушария Земли такое возможно? Ответ выразите в градусах.

Вариант 1

$$h_n = 10^\circ.$$

**Ответ:** 50.

Вариант 2

$$h_n = 30^\circ.$$

**Ответ:** 60.

Вариант 3

$$h_n = 40^\circ.$$

**Ответ:** 65.

Вариант 4

$$h_n = 80^\circ.$$

**Ответ:** 85.

**Решение.** Высота светила в верхней кульминации равна

$$h_g = 90^\circ - |\delta - \varphi|,$$

где  $\delta$  — склонение светила,  $\varphi$  — широта места наблюдения. В нашем случае

$$h_g = 90^\circ \Rightarrow |\delta - \varphi| = 0^\circ \Rightarrow \delta = \varphi,$$

то есть, если звезда проходит через зенит, то её склонение равно широте места наблюдения.

Высота светила в нижней кульминации равна

$$h_n = |\varphi + \delta| - 90^\circ$$

В нашем случае получится  $h_n = |2\varphi| - 90^\circ$ . Требуется найти северную широту, поэтому  $\varphi > 0^\circ$ . Тогда  $h_n = 2\varphi - 90^\circ$ , и

$$\varphi = \frac{90^\circ + h_n}{2}$$

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

## Задача 2

Сопоставьте научные термины и их значения.

- 1) элонгация
  - 2) оппозиция
  - 3) инерция
  - 4) абберация
  - 5) кластер
  - 6) абсорбция
  - 7) конденсация
  - 8) ионизация
- 
- а) скопление
  - б) переход из газообразного состояния в жидкое
  - в) удаление
  - г) противостояние
  - д) поглощение
  - е) бездеятельность
  - ж) искажение
  - з) у атома отнимается один или несколько электронов

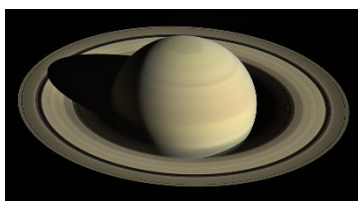
**Ответ:** 1 — в, 2 — г, 3 — е, 4 — ж, 5 — а, 6 — д, 7 — б, 8 — з.

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

### Задача 3

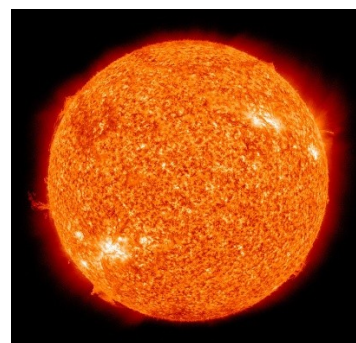
У каких небесных тел есть твёрдая поверхность?



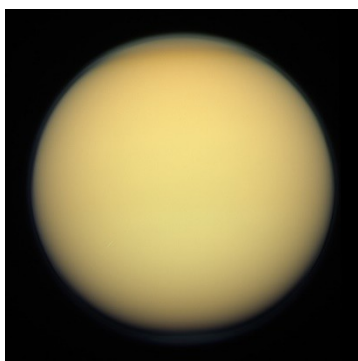
1



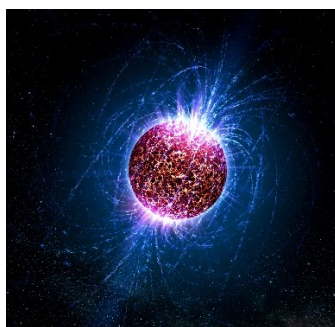
2



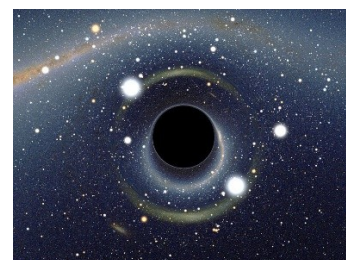
3



4



5



6

**Ответ:** 2, 4, 5.

**Решение.**

1 — планета Сатурн, один из газовых гигантов Солнечной системы, у которых нет твёрдой поверхности.

2 — планета Венера, одна из планет земной группы, под её плотной атмосферой есть твёрдая поверхность.

3 — звезда Солнце; у нормальных звёзд нет твёрдой поверхности.

4 — спутник Сатурна Титан, под его плотной атмосферой есть твёрдая поверхность.

5 — художественное изображение нейтронной звезды; у нейтронных звёзд есть твёрдая кора.

6 — художественное изображение чёрной дыры; у чёрных дыр вообще нет поверхности.

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

#### Задача 4

Существование каких объектов и явлений доказано?

- 1) мультивселенная
- 2) чёрные дыры
- 3) бозонные звёзды
- 4) гравитационные волны
- 5) ускоренное расширение Вселенной

**Ответ:** 2, 4, 5.

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

#### Задача 5

##### Вариант 1

Расстояние до шарового скопления М13 составляет 6,8 кпк. Его угловой диаметр составляет 23 угловые минуты. За сколько времени пролетает свет от центра скопления до его периферии? Ответ выразите в годах, округлите до целых.

**Ответ:** 74.

##### Вариант 2

Расстояние до шарового скопления М10 составляет 4,4 кпк. Его угловой диаметр составляет 38,6 угловой минуты. За сколько времени пролетает свет от центра скопления до его периферии? Ответ выразите в годах, округлите до целых.

**Ответ:** 81 (или 80).

##### Вариант 3

Расстояние до шарового скопления М12 составляет 5,0 кпк. Его угловой диаметр составляет 16 угловых минут. За сколько времени пролетает свет от центра скопления до его периферии? Ответ выразите в годах, округлите до целых.

**Ответ:** 38.

##### Вариант 4

Расстояние до шарового скопления М3 составляет 10,0 кпк. Его угловой диаметр составляет 36 угловых минут. За сколько времени пролетает свет от центра скопления до его периферии? Ответ выразите в годах, округлите до целых.

**Ответ:** 171.

**Решение.**

Пусть  $l$  — расстояние до скопления,  $\delta$  — его угловой диаметр. Тогда его угловой радиус равен  $\delta/2$ , а линейный радиус равен

$$R = l \cdot \frac{\delta[\text{рад}]}{2},$$

где  $\delta[\text{рад}]$  — угловой диаметр, выраженный в радианах. В условии задачи даётся  $\delta'$  — угловой диаметр, выраженный в угловых минутах,

$$\delta[\text{рад}] = \frac{\delta'}{3438'}.$$

В итоге для радиуса скопления получаем формулу

$$R = \frac{l}{2} \cdot \frac{\delta'}{3438'}.$$

В условии задачи расстояние до скопления дано в парсеках, поэтому и радиус скопления получится выраженным в парсеках,  $R[\text{пк}]$ . Нужно выразить радиус в световых годах:

$$R[\text{св.годы}] = 3,26 \cdot R[\text{пк}].$$

Радиус скопления, выраженный в световых годах, численно равен искомому времени, за которое свет проходит расстояние от центра до периферии скопления (то есть расстояние, равное радиусу скопления), выраженному в годах.

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**. Удвоенный ответ (перепутан радиус и диаметр) — **1 балл**, в остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

В далёкой-далёкой галактике есть планета Ольга, очень похожая на Землю и обращающаяся вокруг звезды, очень похожей на Солнце. Планета населена разумными астрономами. В таблице представлены данные по нескольким ярким звёздам неба этой планеты — гигантам и сверхгигантам. Так удивительно совпало, что жители этой планеты используют те же самые величины единицы измерения, что и земляне.

Звезда	Видимая звёздная величина $m$	Расстояние, пк	$R/R_{\odot}$	$M/M_{\odot}$
Хеля	+1,32	73	73	10
Эмми	+1,97	238	550	15
Селинда	+0,36	98	46	20
Ветта	-2,06	102	189	12
Анси	-0,01	20	31	3

### Задача 6

У какой из этих звёзд наибольшая светимость?

**Ответ:** Ветта.

**Решение.** Вместо светимости достаточно посчитать абсолютную звёздную величину, здесь придётся обозначить её  $H$ . Рассчитывается она по известной формуле для модуля расстояния:

$$H = m + 5 - 5 \lg d [\text{пк}],$$

где  $d[\text{пк}]$  — расстояние, выраженное в парсеках.

Звезда	Абсолютная звёздная величина $H$
Хеля	-3,00
Эмми	-4,91
Селинда	-4,60
Ветта	-7,10
Анси	-1,52

Чем меньше абсолютная звёздная величина, тем больше светимость. Получается, что самая большая светимость у Ветты.

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

### Задача 7

У какой из звёзд ускорение свободного падения в её фотосфере наибольшее?

**Ответ:** Селинда.

**Решение.** Ускорение свободного падения для шарообразной звезды массой  $M$  и радиусом  $R$  рассчитывается по формуле

$$g = G \frac{M}{R^2}.$$

Можно, конечно, массу звезды выразить в килограммах, а радиус — в метрах, и честно рассчитать ускорение свободного падения для каждой звезды. Но можно сэкономить вычисления. В астрономии обычно характеристики звёзд выражают в солнечных единицах. И мы тоже выразим ускорение свободного падения у каждой звезды  $g$  в  $g_{\odot}$ :

$$\frac{g}{g_{\odot}} = \frac{GM}{R^2} \cdot \frac{GM_{\odot}}{R_{\odot}^2} = \frac{GM}{R^2} \cdot \frac{R_{\odot}^2}{GM_{\odot}} = \frac{M}{M_{\odot}} \cdot \frac{R_{\odot}^2}{R^2} = \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) \cdot \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2.$$

Вычисления будут гораздо экономнее. Ясно, что у звёзд с максимальным  $g/g_{\odot}$  максимальна и сама  $g$ .

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

### Задача 8

У какой из звёзд угловой размер наибольший?

**Ответ:** Эмми.

**Решение.** Под угловым размером можно понимать, например, угловой радиус. Размеры звёзд много меньше расстояния до них, поэтому можно пользоваться следующей формулой для углового радиуса, выраженного в радианах:

$$\rho [\text{рад}] = \frac{R}{d}.$$

Можно, конечно, честно перевести  $R$  и  $d$  в одинаковые единицы, но можно представить

$$\rho [\text{рад}] = R_{\odot} \cdot \frac{R/R_{\odot}}{d}.$$

Ясно, что для всех звёзд  $R_{\odot}$  одинаков (не зависит от них) и для сравнения угловых радиусов достаточно сравнивать отношения  $\frac{R/R_{\odot}}{d}$ , причём  $d$  можно даже не переводить в километры, а оставить выраженными в парсеках.

**Критерии.** Правильный ответ – 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

### Задача 9

#### Вариант 1

Во сколько раз скорость астероида в перигелии больше его скорости в афелии, если эксцентриситет его орбиты равен 0,8? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 9.

#### Вариант 2

Во сколько раз скорость астероида в перигелии больше его скорости в афелии, если эксцентриситет его орбиты равен 0,6? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 4.

#### Вариант 3

Во сколько раз скорость астероида в перигелии больше его скорости в афелии, если эксцентриситет его орбиты равен 0,5? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 3.

#### Вариант 4

Во сколько раз скорость астероида в перигелии больше его скорости в афелии, если эксцентриситет его орбиты равен 0,9? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 19.

**Решение.** Следствием II закона Кеплера является соотношение  $v_{\Pi} r_{\Pi} = v_A r_A$  ( $\Pi$  — перигелий,  $A$  — апоцентр), откуда получим

$$\frac{v_{\Pi}}{v_A} = \frac{r_A}{r_{\Pi}}.$$

Пусть  $a$  — большая полуось,  $e$  — эксцентриситет орбиты. Известно, что  $r_{\Pi} = a(1-e)$ ,  $r_A = a(1+e)$ . Тогда

$$\frac{v_{\Pi}}{v_A} = \frac{a(1+e)}{a(1-e)} = \frac{1+e}{1-e}.$$

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.



Собственное движение звезды Беллатрикс по прямому восхождению  $\mu_\alpha = -8,11 \cdot 10^{-3}''/\text{год}$ , по склонению  $\mu_\delta = -12,88 \cdot 10^{-3}''/\text{год}$ . Лучевая скорость  $V_r = +17,31 \text{ км/с}$ . Параллакс  $p = 12,92 \cdot 10^{-3}''$ .

### Задача 10

Вычислите пространственную скорость звезды относительно Солнца. Ответ выразите в км/с и округлите до целых.

**Ответ:** 18 км/с.

**Решение.** Полное собственное движение звезды вычисляется по формуле  $\mu = \sqrt{\mu_\alpha^2 + \mu_\delta^2}$ . Вспомним, что тангенциальную скорость звезды можно рассчитать по формуле

$$V_t [\text{км/с}] = 4,74 \cdot \frac{\mu [''/\text{ГОД}]}{p ['']}$$

Пространственная скорость звезды равна

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2}$$

Подставим численные значения:

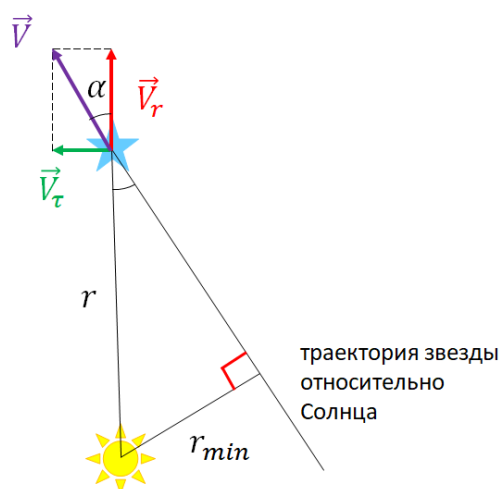
$$\mu = \sqrt{(-8,11)^2 + (-12,88)^2} \cdot 10^{-3}''/\text{год} \approx 15,22 \cdot 10^{-3}''/\text{год};$$

$$V_t = 4,74 \cdot \frac{15,22 \cdot 10^{-3}}{12,92 \cdot 10^{-3}} \text{ км/с} \approx 5,58 \text{ км/с};$$

$$V = \sqrt{(5,58)^2 + (17,31)^2} \text{ км/с} \approx 18 \text{ км/с}.$$

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.



### Задача 11

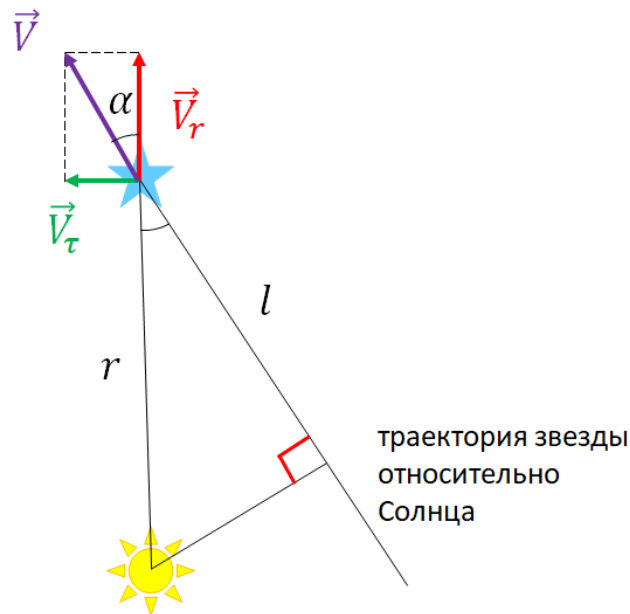
На каком минимальном расстоянии от Солнца пролетела звезда? Ответ выразите в световых годах и округлите до целых.

**Ответ:** 77 или 78 световых лет.

**Решение.**

Тангенциальная и лучевая составляющие пространственной скорости звезды помогут установить направление движения звезды относительно Солнца и восстановить

её траекторию. Минимальное расстояние до звезды равно длине перпендикуляра, опущенного из Солнца к траектории. Получаем прямоугольный треугольник.



Из треугольника, образованного составляющими вектора пространственной скорости звезды и самим этим вектором, получаем

$$\sin \alpha = \frac{V_t}{V}.$$

Из другого прямоугольного треугольника

$$r_{min} = r \sin \alpha;$$

$$r_{min} = r \cdot \frac{V_t}{V},$$

причём  $r[\text{пк}] = \frac{1}{p''};$

$$r_{min} = \frac{1}{12,92 \cdot 10^{-3} \text{ пк}} \cdot \frac{5,58 \text{ км/с}}{\sqrt{5,58^2 + 17,31^2} \text{ км/с}} \approx 23,76 \text{ пк} = 23,76 \cdot 3,26 \text{ св. года} \approx 78 \text{ св. лет.}$$

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла.**

Итого за задачу **2 балла.**

### Задача 12

Сколько лет назад это было? Ответ выразите в миллионах лет и округлите до целых.

*Пример.* Если вы получили 100 000 000 лет, то в ответе нужно записать 100.

**Ответ:** 4 млн лет назад.

**Решение.** Расстояние  $l$ , пройденное звездой с момента, когда она была на минимальном расстоянии от Солнца, можно найти с помощью теоремы Пифагора:

$$l = \sqrt{r^2 - r_{min}^2} = \sqrt{\frac{1}{p^2} - r_{min}^2} \approx 73,66 \text{ пк} \approx 2,27 \cdot 10^{15} \text{ км.}$$

Это расстояние звезда пролетает со скоростью  $V$ . Тогда искомое время

$$t = \frac{l}{V} \approx 1,25 \cdot 10^{14} \text{ с} \approx 3,95 \cdot 10^6 \text{ лет.} \approx 4 \text{ млн лет.}$$

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**.

Итого за задачу **2 балла**.

### Задача 13

Какие из этих систем телескопов являются диоптрическими?

- 1) система Ньютона
- 2) система Галилея
- 3) система Кеплера
- 4) система Кассегрена
- 5) система Грегори

**Ответ:** 2, 3.

**Решение.** Диоптрические системы — другое название систем линзовых телескопов. Системы Кеплера и Галилея — первые системы телескопов, они линзовые. Все остальные системы, разработанные позже, являются зеркальными (катоптрическими).

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**. Если не указана одна правильная система или указана одна лишняя — **1 балл**. В остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

## Задача 14

### Вариант 1

Расстояние от объектива до окуляра телескопа равно 1,5 м. Фокусное расстояние окуляра равно 5 см. Вычислите увеличение телескопа. Объектив и окуляр считайте одиночными тонкими линзами. Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 29.

### Вариант 2

Увеличение телескопа равно 130. Фокусное расстояние окуляра равно 3 см. Чему равно расстояние от объектива до окуляра телескопа, если он сфокусирован на бесконечность? Объектив и окуляр считайте одиночными тонкими линзами. Ответ выразите в сантиметрах и округлите до целых.

**Ответ:** 393 см.

### Вариант 3

Расстояние от объектива до окуляра сфокусированного на бесконечность телескопа равно 500 см. Увеличение равно 249. Чему равно фокусное расстояние объектива? Объектив и окуляр считайте одиночными тонкими линзами. Ответ выразите в сантиметрах и округлите до целых.

**Ответ:** 498 см

### Вариант 4

Расстояние от объектива до окуляра сфокусированного на бесконечность телескопа равно 200 см. Увеличение равно 49. Чему равно фокусное расстояние окуляра? Объектив и окуляр считайте одиночными тонкими линзами. Ответ выразите в сантиметрах и округлите до целых.

**Ответ:** 4 см.

### Решение.

Пусть  $F$  — фокусное расстояние объектива,  $f$  — фокусное расстояние окуляра телескопа. Тогда расстояние от объектива до окуляра равно

$$l = F + f.$$

Увеличение телескопа составляет

$$\Gamma = \frac{F}{f}.$$

С помощью этих двух формул и решается данная задача.

**Критерии.** Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

## Задача 15

### Вариант 1

Сколько лет Юпитер будет падать на Солнце, если его остановить? Радиус орбиты Юпитера равен 5,2 а. е. Ответ выразите в годах, округлите до десятых.

**Ответ:** 2,1 года.

### Вариант 2

Сколько лет Сатурн будет падать на Солнце, если его остановить? Радиус орбиты Сатурна равен 9,5 а. е. Ответ выразите в годах, округлите до десятых.

**Ответ:** 5,2 лет.

### Вариант 3

Сколько лет Уран будет падать на Солнце, если его остановить? Радиус орбиты Урана равен 19,2 а. е. Ответ выразите в годах, округлите до десятых.

**Ответ:** 14,9 лет.

### Вариант 4

Сколько лет Нептун будет падать на Солнце, если его остановить? Радиус орбиты Нептуна равен 30,1 а. е. Ответ выразите в годах, округлите до десятых.

**Ответ:** 29,2 лет.

**Решение.** Пусть  $r$  — радиус орбиты планеты. Траекторией движения планеты при падении на Солнце будет вырожденный (бесконечно узкий) эллипс. Его апоцентр будет в начальном положении планеты на орбите, а перицентр — в самом Солнце. Поэтому большая полуось орбиты равна  $r/2$ . Период обращения по вырожденному эллипсу можно вычислить, сравнив его с орбитой Земли с помощью III закона Кеплера:

$$\left(\frac{T}{T_{\oplus}}\right)^2 = \left(\frac{r/2}{r_{\oplus}}\right)^3.$$

Отсюда находим

$$T = T_{\oplus} \cdot \left(\frac{r}{2r_{\oplus}}\right)^{3/2}.$$

Само время падения равно половине периода:

$$\tau = \frac{T_{\oplus}}{2} \cdot \left(\frac{r}{2r_{\oplus}}\right)^{3/2}.$$






Также вспомним, что  $T_{\oplus} = 1$  год,  $r_{\oplus} = 1$  а. е.

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**.

Итого за задачу **2 балла**.

### Задача 16

Расставьте звёзды в порядке возрастания эффективной температуры.

		
1	2	3
		
4	5	

**Ответ:** 4, 5, 2, 1, 3.

**Решение.** Самые холодные звёзды красного цвета, самые горячие – голубые.

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**. Ответы (4, 2, 5, 1, 3), (4, 5, 2, 3, 1) и (4, 2, 5, 3, 1) — **1 балл**, в остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

### Задача 17

#### Вариант 1

В какое время года Луна в последней четверти наблюдается в созвездии Овна?

**Ответ:** лето.

**Решение.** Луна в фазе последней четверти западнее Солнца на  $90^\circ$ . Значит, Солнце находится где-то в созвездии Близнецов или Рака. Это происходит летом.

#### Вариант 2

В какое время года Луна в фазе первой четверти наблюдается в созвездии Рыб?

**Ответ:** зима.

**Решение.** Луна в фазе первой четверти восточнее Солнца на  $90^\circ$ . Значит, Солнце находится где-то в созвездии Стрельца. Это происходит зимой.

### Вариант 3

В какое время года Луна в фазе последней четверти наблюдается в созвездии Стрельца?

**Ответ:** весна.

**Решение.** Луна в фазе последней четверти западнее Солнца на  $90^\circ$ . Значит, Солнце находится где-то в созвездии Рыб. Это происходит весной.

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**.

Итого за задачу **2 балла**.

### Задача 18

Для звёзд главной последовательности установлены наблюдательные зависимости между основными характеристиками звёзд:

- зависимость «масса-светимость»  $\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{3,9}$  ;
- зависимость «радиус-светимость»  $\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^{5,2}$  .

Определите показатель степени в зависимости средней плотности от массы  $\rho \propto M^n$ . Показатель  $n$  округлите до сотых.

**Ответ:**  $n = -1,25$ .

**Решение.**

Сначала установим показатель степени в зависимости «радиус-масса»:

$$\left(\frac{R}{R_\odot}\right)^{5,2} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{3,9} \Rightarrow \frac{R}{R_\odot} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{\frac{3,9}{5,2}} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{\frac{3}{4}} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{0,75} .$$

Сравним среднюю плотность звезды главной последовательности со средней плотностью Солнца:

$$\frac{\rho}{\rho_\odot} = \frac{M}{M_\odot} \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^{-3} = \frac{M}{M_\odot} \left[\left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{0,75}\right]^{-3} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{1-0,75 \cdot 3} = \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{-1,25} .$$

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**.

Итого за задачу **2 балла**.

## Задача 19



Отметьте:

- 1) планеты, попавшие в кадр;
- 2) ярчайшую звезду ночного неба;
- 3) туманность, хорошо видимую в бинокль;
- 4) звезду, наблюдающуюся на фоне рассеянного скопления.

**Решение.**

1. Планеты обнаружимы как «лишние» яркие звёзды в знакомом звёздном узоре зимних созвездий.





2. Три звезды пояса Ориона указывают на Сириус — ярчайшую звезду неба. Здесь он восходит.



3. В бинокль хорошо видна знаменитая Большая туманность Ориона (M42).



4. На фоне рассеянного скопления Гиады наблюдается Альдебаран — ярчайшая звезда созвездия Телец.




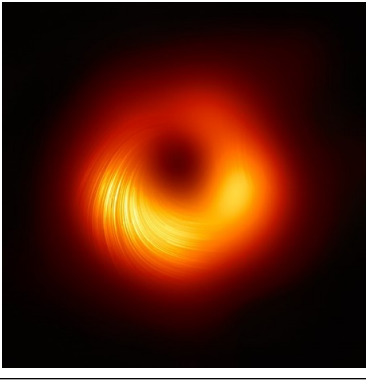

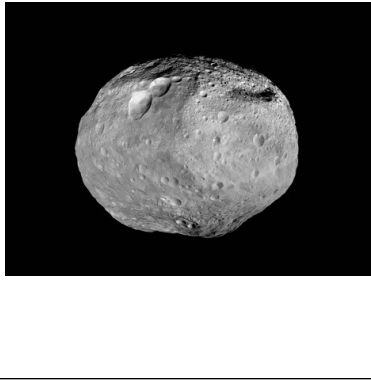


**Критерии.** По 0,5 балла за каждую верно решённую часть.

Итого за задачу 2 балла.

### Задача 20

Расставьте небесные тела и объекты в порядке возрастания массы.

		
1	2	3
		
4	5	6

**Ответ:** 6, 2, 1, 3, 5, 4.

**Решение.**

На рисунке 1 изображена планета Юпитер, она в 318 раз массивнее Земли, изображённой на рисунке 2.

На рисунке 3 изображено рассеянное скопление Плеяды, его масса оценивается в 800 масс Солнца.

На рисунке 4 изображена тень сверхмассивной чёрной дыры, находящейся в центре галактики M87, масса этой сверхмассивной чёрной дыры составляет 6,5 млрд масс Солнца.

На рисунке 5 изображено шаровое скопление NGC 1677, наблюдающееся в направлении созвездия Золотой Рыбы. Его масса оценивается в 100 тысяч масс Солнца.

На рисунке 6 изображён астероид, его масса недостаточна, чтобы под действием собственной гравитации он принял сферическую форму. Поэтому его масса точно меньше массы шарообразной Земли.

**Критерии.** Правильный ответ — **2 балла**.

Итого за задачу **2 балла**.