

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 δ — склонение светила, φ — 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

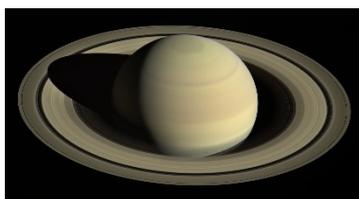
Ответ: 1 — в, 2 — г, 3 — е, 4 — ж, 5 — а, 6 — д, 7 — б, 8 — з.

Критерии. Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

Задача 3

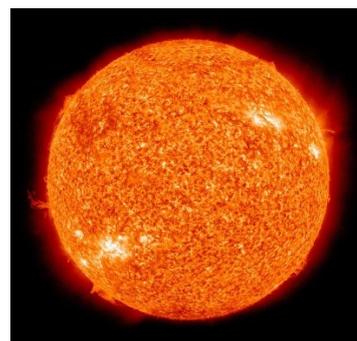
У каких небесных тел есть твёрдая поверхность?



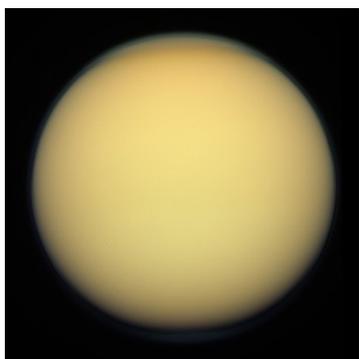
1



2



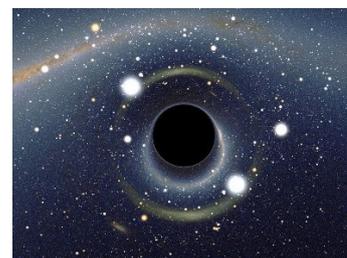
3



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, δ — 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 δ' — 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 $v_{\Pi} r_{\Pi} = v_A r_A$ (Π — 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:

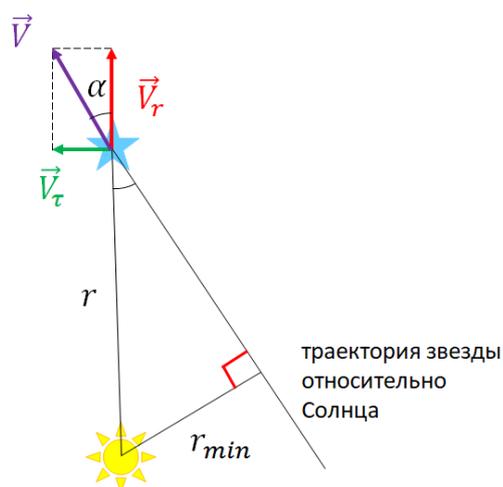
$$\mu = \sqrt{(-8,11)^2 + (-12,88)^2} \cdot 10^{-3}''/\text{год} \approx 15,22 \cdot 10^{-3}''/\text{год};$$

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

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

Критерии. Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.



Задача 11

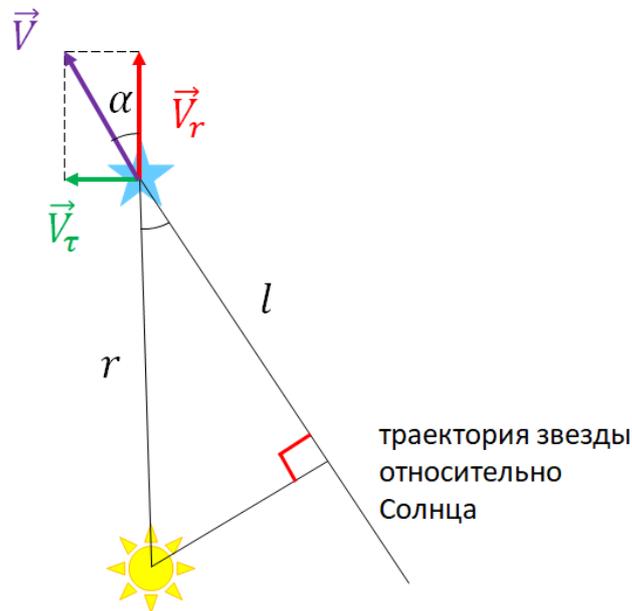
На каком минимальном расстоянии от Солнца пролетела звезда? Ответ выразите в световых годах и округлите до целых.

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° . 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° . 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° . 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.

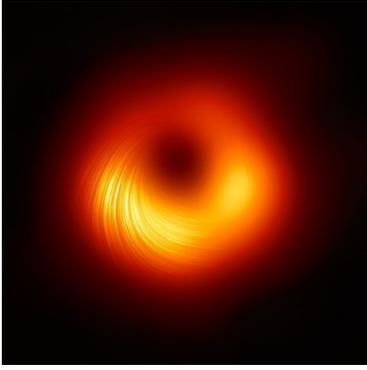
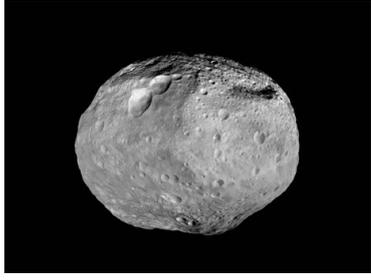


Критерии. По 0,5 балла за каждую верно решённую часть.

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**.