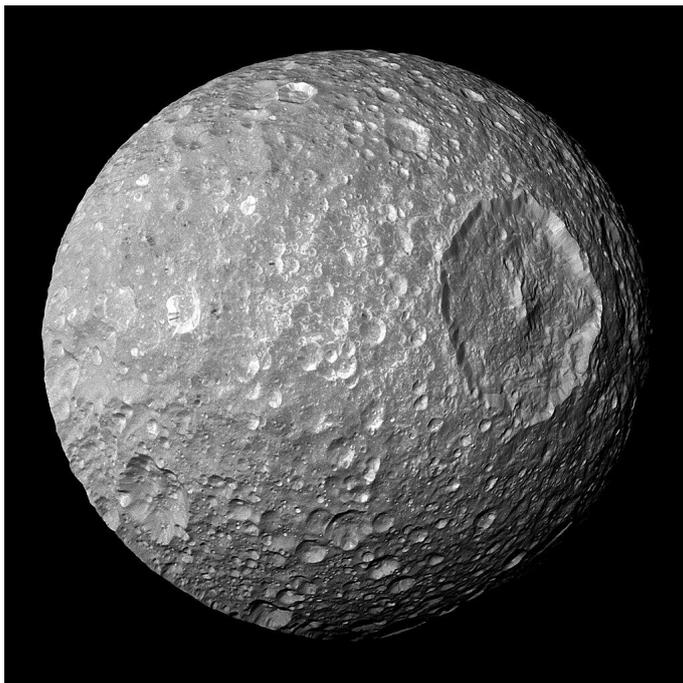


## Максимальное количество баллов за олимпиаду — 100

## Задание 1.

а) Какой объект изображён на фото<sup>1</sup>?

Ответ:

- Луна
- ✓ Мимас
- Звезда Смерти
- Планета PA-99-N2b

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

б) Определите диаметр кратера (справа от центра диска), если диаметр объекта составляет 400 км. Ответ выразите в километрах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [70; 150]

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

в) Возле какого небесного тела обращается этот объект?

Ответ:

- Звезда PA-99-N2
- ✓ Сатурн
- Татуин
- Земля

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

г) Какая автоматическая межпланетная станция передала изображение этого спутника на Землю?

Ответ:

- Вояджер-2
- Галилео
- ✓ Кассини
- Венера-5

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

Максимальный балл за задание — 12

Решение.

а) Мимас легко опознать по гигантскому ударному кратеру занимающему значительную часть диска. Благодаря этому кратеру Мимас внешне напоминает «Звезду Смерти» из «Звёздных войн». На Луну изображённый объект не похож, а фотографий экзопланет в таком качестве пока нет.

б) Нетрудно заметить, что видимый размер кратера составляет около четверти видимого размера объекта.

в) Мимас входит в число спутников Сатурна. У Земли известен один естественный спутник — Луна. Татуин — вымышленная планета из «Звёздных войн». Экзопланеты ранее были исключены из рассмотрения.

<sup>1</sup>NASA / Wikimedia Commons. — [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mimas\\_Cassini.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mimas_Cassini.jpg)

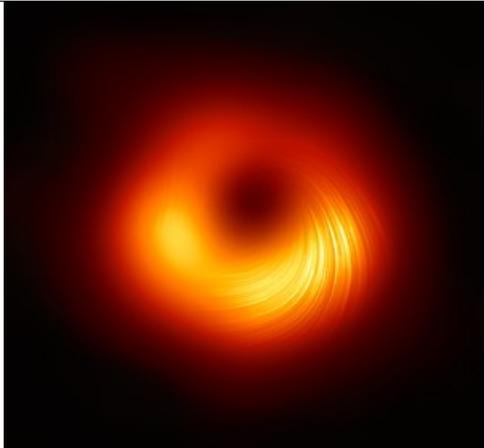
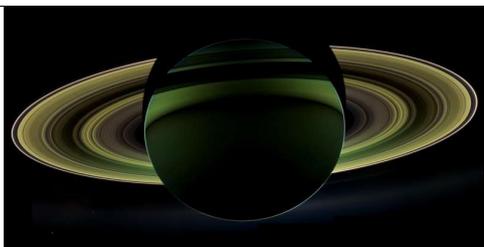
г) Миссия «Кассини-Гюйгенс» работала в системе Сатурна с 2004 по 2017 год. Комплекс состоял из зонда «Гюйгенс», предназначенного для посадки на Титан, и орбитальной станции «Кассини». Станция передала на Землю множество детальных изображений колец и спутников Сатурна, включая Мимас.

### Задание 2.

а) Установите соответствие между изображениями и их описаниями.

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

Ответ:

Изображение	Описание	Комментарий
	Сброшенная оболочка переменной звезды <sup>1</sup>	Световое эхо вспышки переменной V838 Mon
	Яркий диск вокруг чёрной дыры <sup>2</sup>	Излучение аккреционного диска и поляризованный рисунок магнитных полей вокруг сверхмассивной чёрной дыры в галактике M87
	Планета <sup>3</sup>	Это Сатурн
	Солнечное затмение <sup>4</sup>	«Бриллиантовое кольцо» в момент наступления полной фазы солнечного затмения
		Астероид
		Лунное затмение
		Спиральная галактика

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего 8 баллов.

<sup>1</sup>Изображение: Hubble Heritage Team / NASA. — <https://apod.nasa.gov/apod/ap051127.html>

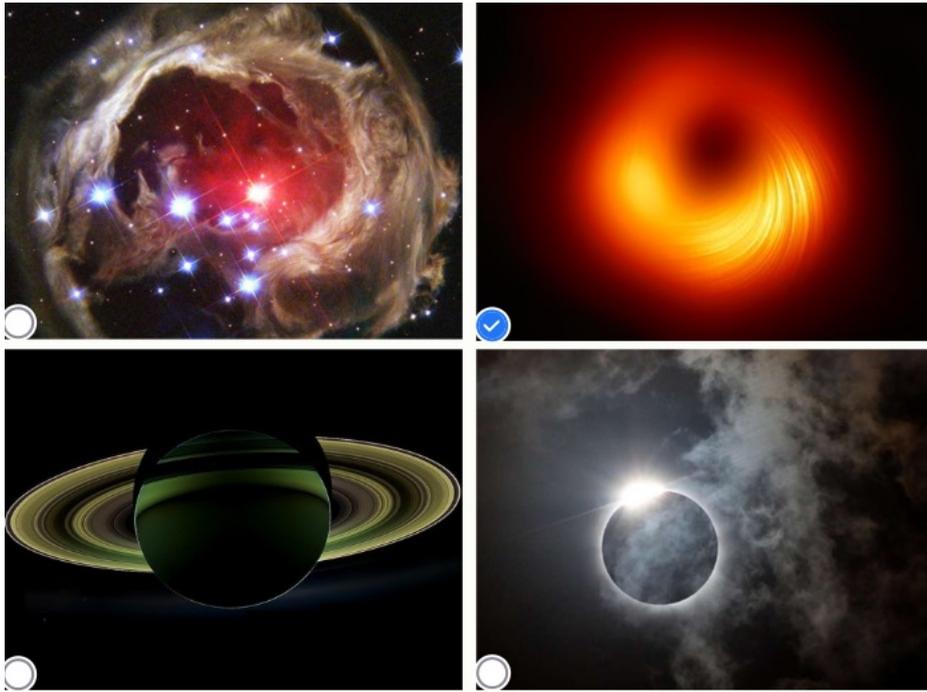
<sup>2</sup>Изображение: EHT / ESO. — <https://www.eso.org/public/images/eso2105a/>

<sup>3</sup>Изображение: Юрий Белецкий, ESO / Астронет. — <https://www.astronet.ru/db/msg/1275313>

<sup>4</sup>Изображение: Люси Орлоски / Астронет. — <https://www.astronet.ru/db/msg/1273037>

б) На каком из изображений запечатлён самый удалённый от Земли объект?

Ответ:



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

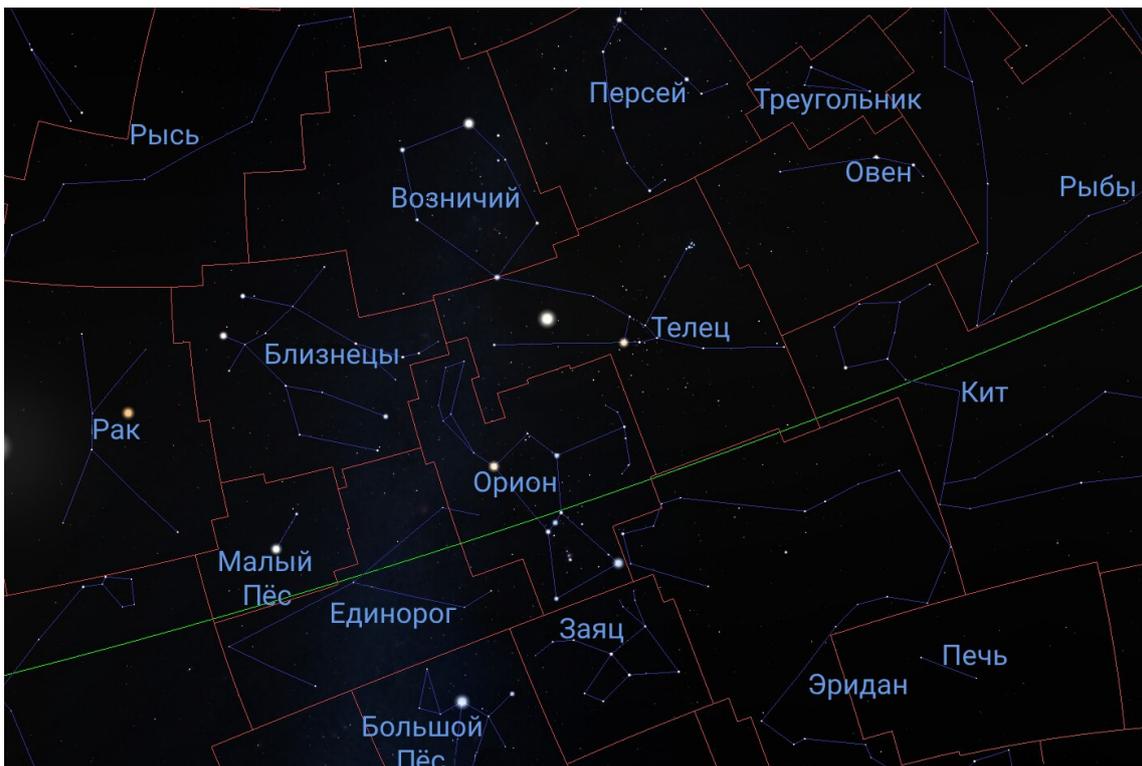
**Максимальный балл за задание — 10**

**Решение.**

а) На первом рисунке — световое эхо вспышки переменной *V838 Mon*; на втором — излучение аккреционного диска и поляризованный рисунок магнитных полей вокруг сверхмассивной чёрной дыры в галактике *M87*; на третьем — Сатурн; на четвёртом — «бриллиантовое кольцо» в момент наступления полной фазы солнечного затмения. Варианты «Астероид», «Лунное затмение», «Спиральная галактика» — лишние.

б) Второй снимок относится к галактике *M87*, удалённой на 55 миллионов световых лет. Остальные объекты находятся в пределах нашей Галактики или даже в Солнечной системе.

**Задание 3. Вариант 1.** Дана иллюстрация из электронного планетария.



Зелёной линией отмечен небесный экватор.

а) Какие созвездия находятся над горизонтом в Москве больше 12 часов в течение суток?

**Ответ:**

- ✓ Возничий
- Заяц
- ✓ Персей
- ✓ Треугольник
- Печь
- Большой Пёс

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

б) Какие созвездия Солнце **НЕ** посещает в видимом годичном движении по небу?

**Ответ:**

- ✓ Возничий
- Близнецы
- Рак
- Телец
- ✓ Малый Пёс
- Рыбы

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 4 балла.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

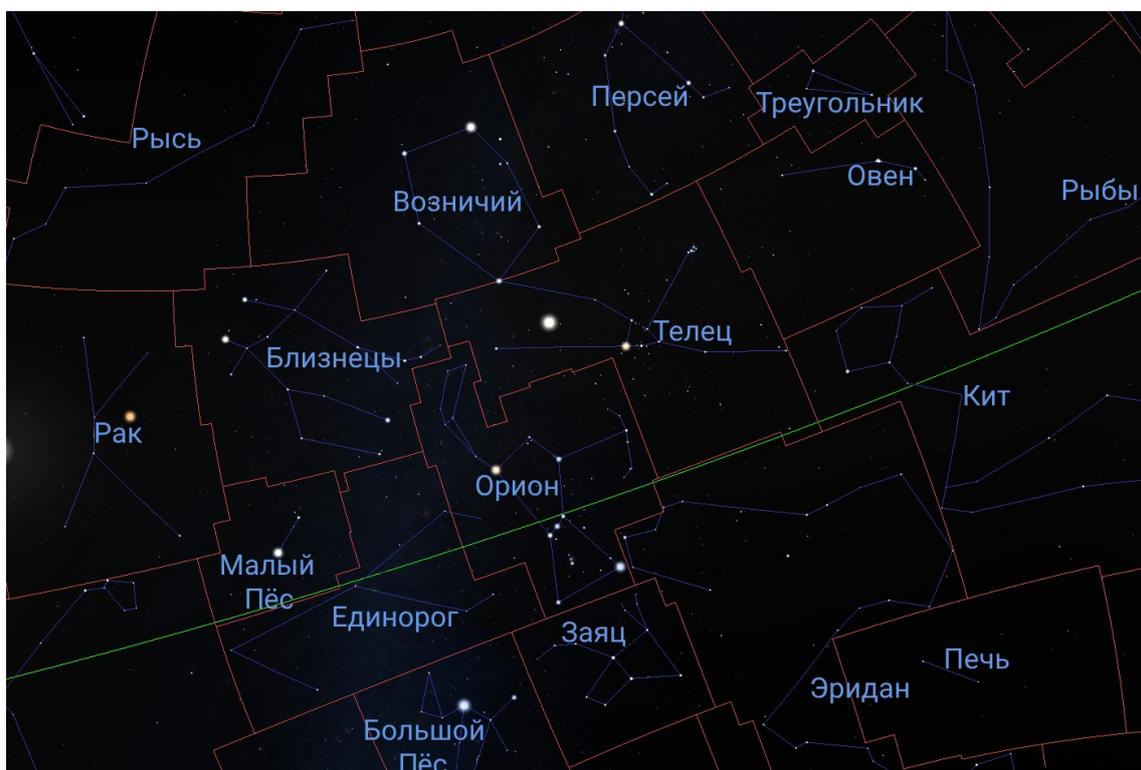
**Максимальный балл за задание — 10**

**Решение.**

а) Для Москвы, расположенной в Северном полушарии, созвездия с *северными* склонениями находятся над горизонтом дольше 12 часов; с южными меньше 12 часов. Возничий, Персей, Треугольник, Рак, Овен и Рысь лежат над небесным экватором; Заяц, Печь и Большой Пёс — под ним.

б) Солнце движется по эклиптике, проходя через зодиакальные созвездия. Возничий и Малый Пёс лежат *вне* полосы эклиптики.

**Задание 3. Вариант 2.** Дана иллюстрация из электронного планетария.



Зелёной линией отмечен небесный экватор.

а) Какие созвездия находятся над горизонтом в Москве больше 12 часов в течение суток?

**Ответ:**

- ✓ Рак
- Заяц
- ✓ Овен
- ✓ Рысь
- Печь
- Большой Пёс

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

б) Какие созвездия Солнце **НЕ** посещает в видимом годичном движении по небу?

**Ответ:**

- ✓ Возничий
- Близнецы
- Рак
- Телец
- ✓ Малый Пёс
- Рыбы

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 4 балла.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

**Максимальный балл за задание — 10**

**Решение по аналогии с вариантом 1**

#### Задание 4. Вариант 1.

а) В галактике Млечный Путь примерно 200 миллиардов звёзд. Сколько лет потребуется, чтобы сосчитать все звёзды, если считать по одной звезде каждую секунду?

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [6238; 6438]

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

б) Светимость галактики составляет  $10^{11}$  светимостей Солнца. Сколько энергии излучает эта галактика за год, если светимость Солнца  $3.8 \cdot 10^{26}$  Вт? Определите порядок числа, записанного в стандартном виде:

**Ответ:**  $A \cdot 10^{45}$  Дж, где  $A \in [1; 10)$ .

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

**Максимальный балл за задание — 8**

**Решение.**

а) Необходимо перевести секунды в годы:

$$\frac{200 \cdot 10^9 \text{ с}}{60 \text{ с/мин} \cdot 60 \text{ мин/ч} \cdot 24 \text{ ч/сут} \cdot 365.25 \text{ сут/год}} \approx 6.34 \cdot 10^3 \text{ лет.}$$

б) Светимость галактики:

$$L = 10^{11} L_{\odot} = 10^{11} \times 3.8 \cdot 10^{26} \text{ Вт} \approx 3.8 \cdot 10^{37} \text{ Вт.}$$

За год излучается энергия

$$E = L \cdot T = 3.8 \cdot 10^{37} \times (60 \text{ с/мин} \times 60 \text{ мин/ч} \cdot 24 \text{ ч/сут} \cdot 365.25 \text{ сут/год}) \approx 1.2 \cdot 10^{45} \text{ Дж.}$$

*Примечание.* Для удобства вычислений достаточно вычислить однократно: продолжительность года  $3.16 \cdot 10^7$  секунд.

#### Матрица параметров и ответов к вариантам задания 4.

##### Пункт а)

№ варианта	Количество звёзд, $10^9$	Количество лет (минимальное значение)	Количество лет (максимальное значение)
1	200	6238	6438
2	150	4653	4853
3	160	4970	5170
4	170	5287	5487
5	180	5604	5804
6	190	5921	6121
7	210	6555	6755
8	220	6872	7072
9	230	7188	7388
10	240	7505	7705
11	250	7822	8022

**Задание 5. Вариант 1.**

Даны параметры трёх внесолнечных планет, движущихся по круговым орбитам в одной плоскости вокруг звезды Глизе 876.

Название планеты	Радиус орбиты, а. е.	Масса планеты в массах Юпитера
Глизе 876 d	0.021	0.33
Глизе 876 c	0.134	0.74
Глизе 876 e	0.345	0.05

а) Установите соответствие между планетами и их характеристиками.

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

**Ответ:**

Глизе 876 d	Имеет наибольшую скорость движения по орбите
Глизе 876 e	Имеет наибольший период движения по орбите
Глизе 876 c	

**Критерий оценивания:** по 2 балла за каждую верную пару. Всего 4 балла.

б) В каких конфигурациях планета c может наблюдаться с планеты e?

**Ответ:**

- ✓ Нижнее соединение
- Противостояние
- ✓ Наибольшая восточная элонгация
- Западная квадратура

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

За каждую ошибку снимается 1 балл.

в) Определите отношение значений кинетической энергии планет c и e. Ответ округлите до целых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [37; 39]

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

г) Во сколько раз больше энергии от звезды на каждый квадратный метр поверхности приходит на планету d по сравнению с планетой c? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [40; 42]

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

**Максимальный балл за задание — 13**

**Решение.**

а) Период обращения тем больше, а орбитальная скорость тем меньше, чем дальше планета от звезды.

б) c — внутренняя по отношению к e планета, поэтому возможны соединения (верхнее и нижнее) и наибольшие элонгации; противостояния и квадратуры характерны для внешних планет.

в) Для круговой орбиты

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \propto \frac{m}{r},$$

где  $r$  — радиус орбиты,  $v \propto 1/\sqrt{r}$  — орбитальная скорость. Тогда

$$\frac{E_c}{E_e} = \frac{\frac{m_c}{r_c}}{\frac{m_e}{r_e}} = \frac{0.74}{0.05} \cdot \frac{0.134}{0.345} \approx 38.$$

г) Плотность потока энергии  $\propto 1/r^2$  (закон обратных квадратов). Следовательно,

$$\frac{F_d}{F_c} = \left(\frac{r_c}{r_d}\right)^2 = \left(\frac{0.134}{0.021}\right)^2 \approx 41.$$

**Задание 5. Вариант 2.**

Даны параметры трёх внесолнечных планет, движущихся по круговым орбитам в одной плоскости вокруг звезды Глизе 876.

Название планеты	Радиус орбиты, а. е.	Масса планеты в массах Юпитера
Глизе 876 d	0.021	0.33
Глизе 876 c	0.134	0.74
Глизе 876 e	0.345	0.05

а) Установите соответствие между планетами и их характеристиками. В этом задании используются не все варианты ответа из левого столбца. Неиспользованные варианты приведены в последней ячейке таблицы.

**Ответ:**

Глизе 876 d	Имеет наименьший период движения по орбите
Глизе 876 e	Имеет наибольшую скорость движения по орбите
Глизе 876 c	

**Критерий оценивания:** за каждую верную пару — 2 балла. Всего 4 балла.

б) В каких конфигурациях планета *e* может наблюдаться с планеты *d*?

**Ответ:**

- ✓ Противостояние
- Нижнее соединение
- ✓ Западная квадратура
- Наибольшая восточная элонгация

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

в) Определите отношение значений кинетической энергии планет *d* и *c*. Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 3

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

г) Во сколько раз больше энергии от звезды на каждый квадратный метр поверхности приходит на планету *d* по сравнению с планетой *e*? Ответ округлите до целых.

**Ответ:** 41

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

**Максимальный балл за задание — 13**

**Решение по аналогии с вариантом 1**

**Задание 6. Вариант 1.**

а) Выберите верные утверждения:

**Ответ:**

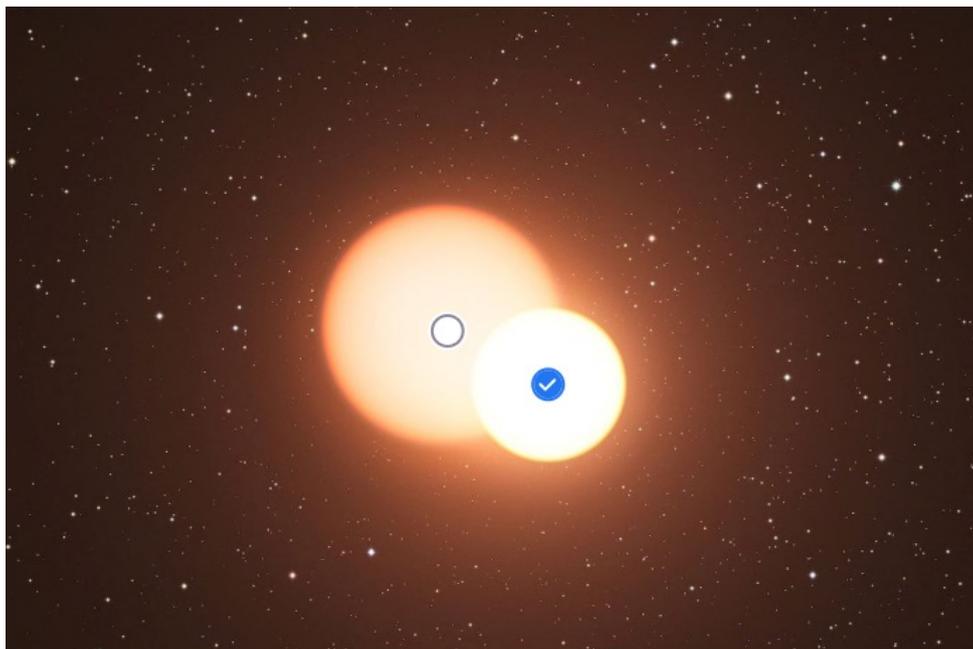
- ✓ Жёлтый карлик — более горячая звезда, чем красный сверхгигант.
- В Млечном Пути существует рассеянное скопление возрастом более 15 млрд лет.
- Самое близкое к Солнцу шаровое скопление находится на расстоянии менее 1.3 парсека.
- ✓ Звёзды с массой больше солнечной в конце своей эволюции могут образовывать нейтронные звёзды.
- Современные оптические приборы позволяют рассмотреть пятна на поверхности звёзд на расстояниях более 2.3 килопарсека.
- ✓ Невооружённым глазом можно увидеть несколько галактик.

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

б) Отметьте на изображении<sup>1</sup> звезду с более высокой температурой фотосферы.

Ответ:



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

**Максимальный балл за задание — 7**

**Решение.**

а) Фотосфера красных звёзд (хоть гигантов, хоть карликов) холоднее, чем фотосфера жёлтых звёзд вроде Солнца. 15 млрд лет превышают возраст Вселенной. При этом большинство шаровых звёздных скоплений Галактики — примерно её ровесники (порядка 10 млрд лет). На расстоянии 1.3 парсека от Солнца находится ближайшая к Солнечной системе звезда — Проксима Центавра. 30 килопарсеков — поперечник диска нашей Галактики; ближайшее шаровое скопление явно ближе. Звёзды солнечной массы заканчивают жизнь белыми карликами. Нейтронные звёзды рождаются из звёзд с массой не меньше  $8M_{\odot}$ . Текущие методы исследования звёздных дисков работают для ярких ближайших объектов. На килопарсековых расстояниях это пока невозможно. Невооружённым глазом, как правило, на тёмном небе можно наблюдать Галактику Андромеды (М31) и Галактику Треугольника (М33) в Северном полушарии, а также Большое и Малое Магеллановы Облака в Южном полушарии.

б) Бело-жёлтая звезда горячее, чем оранжевая.

**Задание 6. Вариант 2.**

а) Выберите верные утверждения:

Ответ:

- Красный карлик — более горячая звезда, чем жёлтый карлик.
- ✓ В Млечном Пути существует шаровое скопление возрастом более 1 млрд лет.
- ✓ Самое близкое к Солнцу шаровое скопление находится на расстоянии менее 30 килопарсеков.
- ✓ Звёзды с массой порядка солнечной в конце своей эволюции могут образовывать белые карлики.
- Современные оптические приборы позволяют рассмотреть пятна на поверхности звёзд на расстояниях более 10 килопарсеков.
- Невооружённым глазом можно увидеть около ста галактик.

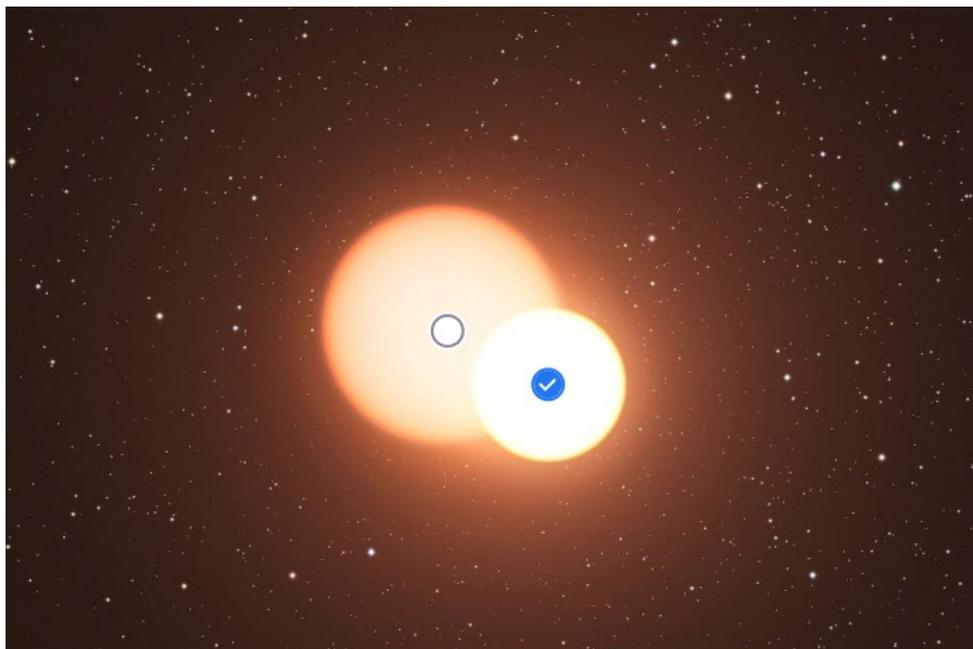
**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

<sup>1</sup>Изображение: Stargazing Ireland. — <https://stargazingireland.com/astronomy-targets/stars-constellations/binary-stars/>

б) Отметьте на изображении звезду с более высокой температурой фотосферы.

Ответ:



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

Максимальный балл за задание — 7

Решение по аналогии с вариантом 1

**Задание 7. Вариант 1.** Даны значения масс внесолнечных планет и звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Масса звезды в массах Солнца	Масса планеты в массах Юпитера
CoRoT-1 b	0.95	1.03
CoRoT-2 b	0.97	3.28
HAT-P-1 b	1.13	0.53
HAT-P-9 b	1.28	0.78
KELT-3 b	1.28	1.46

а) Отношение массы какой планеты к массе звезды наибольшее?

Ответ:

- CoRoT-1 b
- ✓ CoRoT-2 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b
- Невозможно определить

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

б) У какой планеты наибольшая средняя плотность?

Ответ:

- CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b
- ✓ Невозможно определить

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

Даны значения радиусов орбит некоторых планет и радиусов звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Радиус орбиты планеты в а. е.	Радиус звезды в радиусах Солнца
CoRoT-1 b	0.025	1.3
CoRoT-2 b	0.028	0.94
НАТ-Р-1 b	0.055	1.1
НАТ-Р-9 b	0.053	1.3
KELT-3 b	0.041	1.6

в) При наблюдении с какой планеты видимый угловой размер звезды будет наибольшим?

**Ответ:**

- ✓ CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- НАТ-Р-1 b
- НАТ-Р-9 b
- KELT-3 b

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

г) Названия экзопланет состоят из названий звёзд, вокруг которых они обращаются, и латинских букв-индексов.

Что значит индекс «b» в названиях экзопланет?

**Ответ:**

- ✓ Это первые открытые или ближайšie к своим звёздам экзопланеты.
- «b» значит big (большой).
- Индексы присваиваются случайным образом.
- «b» значит bright (яркий).

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

д) Сравните вес леща на поверхности планеты CoRoT-7 b (масса равна 7 массам Земли, радиус равен 1.6 радиуса Земли) с весом горбатого кита на поверхности малой планеты Паллада (масса 0.00003 массы Земли, радиус 0.04 радиуса Земли). Масса леща составляет 3 кг, масса горбатого кита составляет 30 тонн. Известно, что ускорение свободного падения прямо пропорционально массе тяготеющего тела и обратно пропорционально квадрату его радиуса. При расчёте делите меньший вес на больший. Ответ округлите до десятитысячных.

**Ответ:** 0.0146

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

**Максимальный балл за задание — 13**

**Решение.**

а) Постоянный множитель  $M_{Jup}/M_{\odot}$  одинаков для всех строк, поэтому не нужно приводить массы к одинаковым единицам — достаточно сравнить отношения значений  $M_p/M_{\star}$  в таблице.

а) Радиусы планет неизвестны. Оценить плотности не получится.

б) Угловой размер  $\theta \propto R_{\star}/\alpha$ . Как и в предыдущем вопросе, не нужно приводить размеры и расстояния к одинаковым единицам — достаточно сравнить отношения значений в таблице.

в) По принятой нотации индекс «b» обозначает *первую* подтверждённую планету у данной звезды (или ближайшую, если известен порядок); далее — «c», «d», ...

г) Ускорение свободного падения  $g \propto M/R^2$  (прямо указано в условии):

$$g_{\text{CoRoT-7b}} = \frac{7}{1.6^2} g_{\oplus} \approx 2.734 g_{\oplus},$$

$$g = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{0.04^2} g_{\oplus} = 0.01875 g_{\oplus}.$$

Здесь  $g_{\oplus}$  — ускорение свободного падения на поверхности Земли, которое, впрочем, не пригодится; можем рассматривать его как некие «условные единицы». Вес  $P = mg$ , где  $m$  — масса тела. Ищем отношение меньшего к большему:

$$\frac{P_{\text{лещ}}}{P_{\text{кит}}} = \frac{3 \cdot 2.734}{30\,000 \cdot 0.01875} \approx 0.0146.$$

**Задание 7. Вариант 2.** Даны значения масс внесолнечных планет и звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Масса звезды в массах Солнца	Масса планеты в массах Юпитера
CoRoT-1 b	0.95	1.03
CoRoT-2 b	0.97	3.28
HAT-P-1 b	1.13	0.53
HAT-P-9 b	1.28	0.78
KELT-3 b	1.28	1.46

а) Отношение массы какой планеты к массе звезды наименьшее?

**Ответ:**

- CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- ✓ HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b
- Невозможно определить

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

б) У какой планеты наибольшая средняя плотность?

**Ответ:**

- CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b
- ✓ Невозможно определить

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

Даны значения радиусов орбит некоторых планет и радиусов звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Радиус орбиты планеты в а. е.	Радиус звезды в радиусах Солнца
CoRoT-1 b	0.025	1.3
CoRoT-2 b	0.028	0.94
HAT-P-1 b	0.055	1.1
HAT-P-9 b	0.053	1.3
KELT-3 b	0.041	1.6

в) При наблюдении с какой планеты видимый угловой размер звезды будет наименьшим?

**Ответ:**

- CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- ✓ HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b

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

г) Названия экзопланет состоят из названий звёзд, вокруг которых они обращаются, и латинских букв-индексов.

Что значит индекс «b» в названиях экзопланет?

**Ответ:**

- ✓ Это первые открытые или ближайšie к своим звёздам экзопланеты.
- «b» значит big (большой).
- Индексы присваиваются случайным образом.
- «b» значит bright (яркий).

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

д) Сравните вес окуня на поверхности планеты CoRoT-7 b (масса равна 7 массам Земли, радиус равен 1.6 радиуса Земли) с весом горбатого кита на поверхности карликовой планеты Церера (масса 0.00016 массы Земли, радиус 0.07 радиуса Земли). Масса окуня составляет 3 кг, масса горбатого кита составляет 30 тонн. Известно, что ускорение свободного падения прямо пропорционально массе тяготеющего тела и обратно пропорционально квадрату его радиуса. При расчёте делите меньший вес на больший. Ответ округлите до десятитысячных.

**Ответ:** 0.0084

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

**Максимальный балл за задание — 13**

**Решение по аналогии с вариантом 1**

**Задание 8. Вариант 1.** Наблюдатель в Санкт-Петербурге (широта  $60^\circ$  с. ш.) увидел в направлении юга звезду на высоте  $5^\circ$  над горизонтом.

Ответьте на вопросы.

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

**Ответ:**

а) Может ли эта звезда быть невосходящей для Санкт-Петербурга?	Нет
б) Может ли эта звезда быть незаходящей для Санкт-Петербурга?	Нет
в) Можно ли увидеть эту звезду на Северном полюсе?	Нет
	Да
	Недостаточно данных

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

г) Определите высоту такой звезды для наблюдателя на Северном полюсе. Ответ выразите в градусах, округлите до целых.

**Ответ:** -25

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

**Максимальный балл за задание — 8**

**Решение.**

а) Её же наблюдали на высоте  $> 0^\circ$ .

б) Наблюдаемая звезда видна низко на юге, значит, не относится к незаходящим. Она заведомо южнее небесного экватора, высота которого достигает  $90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$  над точкой юга. При этом светила на небесном экваторе видны над горизонтом всего половину суток.

в) Звезда располагается южнее небесного экватора, в Южном полушарии неба.

г) Высота звезды в верхней кульминации  $h = 90^\circ - \phi + \delta = 5^\circ$ , где  $\phi = 60^\circ$  — широта Санкт - Петербурга,  $\delta$  — склонение звезды. Отсюда  $\delta = 25^\circ$ . На Северном полюсе высота звезды равна её склонению.

**Матрица параметров и ответов к вариантам задания 8.**

**Пункт г)**

№ варианта	$h,^\circ$	$\delta,^\circ$
1	5	-25
2	6	-24
3	7	-23
4	8	-22
5	9	-21
6	10	-20
7	11	-19
8	12	-18
9	13	-17
10	14	-16
11	15	-15
12	16	-14
13	17	-13
14	18	-12
15	19	-11
16	20	-10

**Задание 9. Вариант 1.** Как известно, в 1929 году Эдвин Хаббл открыл расширение Вселенной. Закон, который впоследствии был назван в его честь, связывает расстояние  $r$  до далёкой галактики и скорость  $v$  её удаления от наблюдателя:

$$v = H_0 r,$$

где  $H_0 = 70(\text{км/с})/\text{Мпк}$  — некоторая константа, одинаковая для всех точек Вселенной в данный момент времени.

а) С какой скоростью удаляется от Земли галактика, находящаяся на расстоянии 12 Мпк? Ответ выразите в км/с, округлите до целых.

**Ответ:** 840

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

б) Непосредственно скорость удаления галактик измерить не получится, поэтому астрономы наблюдают смещение спектральных линий в излучении этих галактик — подобие эффекта Доплера, из-за которого мы слышим изменение частоты звука, издаваемого движущимся автомобилем. Красное смещение  $z$  связано со скоростью  $v$  удаления галактики:

$$z = \frac{v}{c},$$

где  $c = 300\,000$  км/с — скорость света. Определите скорость удаления галактики  $R_1$  с красным смещением  $z = 0.05$ . Ответ выразите в км/с, округлите до целых.

**Ответ:** 15 000

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

в) Определите расстояние до галактики  $R_1$ . Ответ выразите в мегапарсеках, округлите до целых.

**Ответ:** засчитывается в диапазоне [210; 220]

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

**Максимальный балл за задание — 11**

**Решение.**

а) По данной формуле  $v_1 = H_0 \cdot r = 70 (\text{км/с})/\text{Мпк} \cdot 12 \text{ Мпк} = 840 \text{ км/с}$ .

б) По данной формуле  $v_2 = z \cdot c = 0.05 \cdot 300\,000 \text{ км/с} = 15\,000 \text{ км/с}$ .

в) По данной формуле  $r' = \frac{v_2}{H_0} = \frac{15\,000 \text{ км/с}}{70 (\text{км/с})/\text{Мпк}} \approx 214 \text{ Мпк}$ .

#### Матрица параметров и ответов к вариантам задания 9.

№ варианта	$r$ , Мпк	$v_1$ , км/с	$z$	$v_2$ , км/с	$r'$ , Мпк (мин. значение)	$r'$ , Мпк (макс. значение)
1	12	840	0.05	15000	210	220
2	10	700	0.06	18000	253	263
3	11	770	0.07	21000	296	306
4	13	910	0.08	24000	339	349
5	14	980	0.09	27000	382	392
6	15	1050	0.1	30000	425	435
7	16	1120	0.11	33000	467	477
8	17	1190	0.12	36000	510	520
9	18	1260	0.13	39000	553	563
10	19	1330	0.14	42000	596	606
11	20	1400	0.15	45000	639	649
12	21	1470	0.05	15000	210	220
13	22	1540	0.06	18000	253	263
14	23	1610	0.07	21000	296	306
15	24	1680	0.08	24000	339	349
16	25	1750	0.09	27000	382	392
17	26	1820	0.1	30000	425	435
18	27	1890	0.11	33000	467	477
19	28	1960	0.12	36000	510	520
20	29	2030	0.13	39000	553	563
21	30	2100	0.14	42000	596	606

**Задание 10.** Установите соответствие между названиями эффектов и их возможными проявлениями.

В этом задании каждому варианту из левого столбца соответствует ровно один вариант из правого столбца. Ответы приведены ниже в нужном порядке.

**Ответ:**

Дифракция света	Появление концентрических окружностей в фокальной плоскости при наблюдении точечных объектов
Поглощение света	Уменьшение наблюдаемой яркости звёзд
Параллакс	Изменение видимого положения объекта относительно удалённого фона при смещении точки наблюдения
Атмосферная рефракция	Увеличение высоты светила за счёт преломления в атмосфере световых лучей

**Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 4 балла.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

**Максимальный балл за задание — 8**