

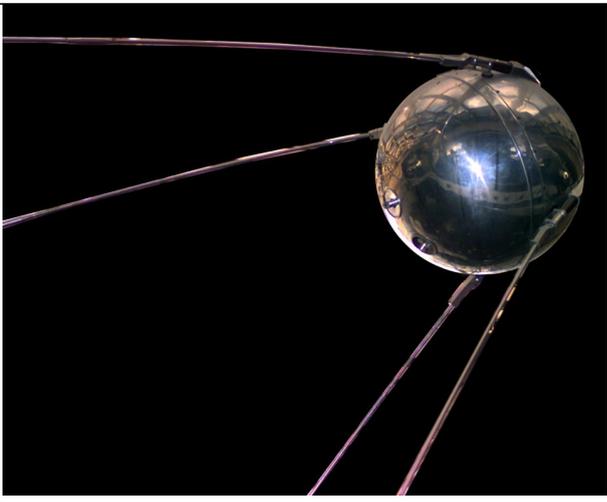
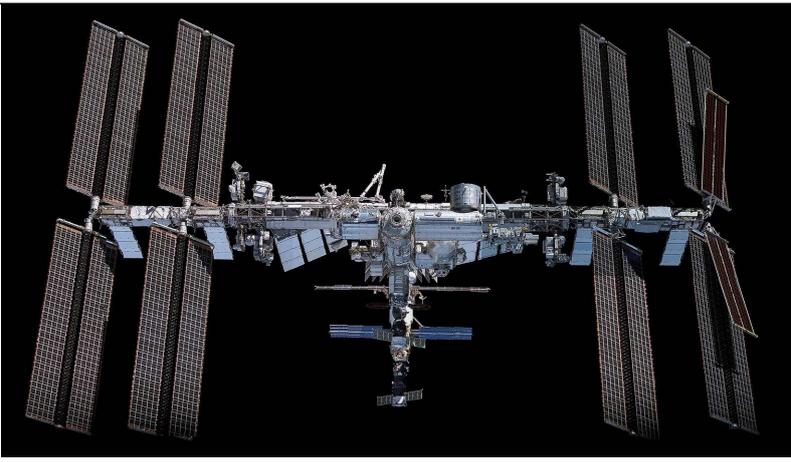
Максимальное количество баллов за олимпиаду — 100

Задание 1.

а) Установите соответствие между изображениями и названиями космических аппаратов.

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

Ответ:

	Телескоп «Хаббл» ¹
	Спутник-1 ²
	Международная космическая станция ³

		<p>Марсоход «Кьюриосити»⁴</p>
		<p>Луноход-1⁵</p>
		<p>Капсула «Восход-1»⁶</p>
		<p>Кубсат Ракета-носитель «Протон»</p>

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

б) Какой объект сейчас находится дальше всего от Земли?

Ответ:

- Спутник-1
- ✓ Марсоход «Кьюриосити»
- Международная космическая станция
- Телескоп «Хаббл»
- Луноход-1
- Ракета-носитель «Протон»
- Кубсат
- Капсула «Восход-1»

¹Изображение: Ruffnah, NASA / Wikimedia Commons. — <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HST-SM4.jpeg>

²Изображение: NSSDC / Wikimedia Commons. — https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sputnik_asm.jpg

³Изображение: NASA / Wikimedia Commons. — <https://clck.ru/3PNZPo>

⁴Изображение: NASA, JPL-Caltech, Malin Space Science Systems / Wikimedia Commons. — <https://clck.ru/3PNZQw>

⁵Изображение: Petar Milosevic / Wikimedia Commons. — https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soviet_moonrover.JPG

⁶Andrew Gray / Wikimedia Commons. — <https://clck.ru/3PNZS7>

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

в) Какой объект был запущен в космос раньше остальных?

Ответ:

- ✓ Спутник-1
- Международная космическая станция
- Телескоп «Хаббл»
- Марсоход «Кьюриосити»
- Луноход-1
- Кубсат
- Капсула «Восход-1»
- Ракета-носитель «Протон»

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 12

Решение.

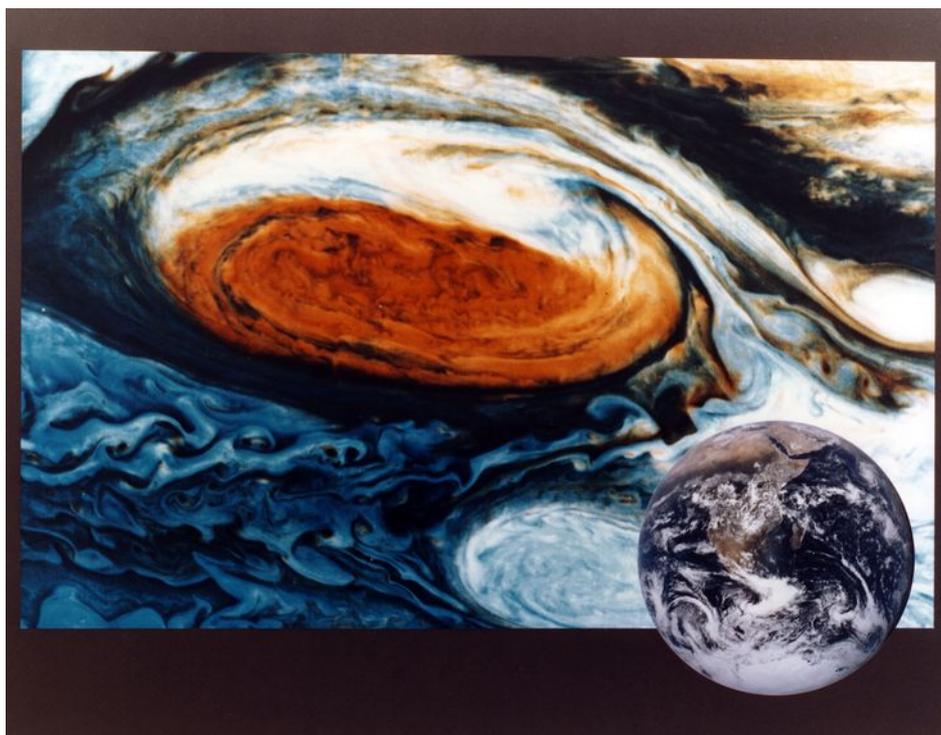
а) Все представленные аппараты имеют легко узнаваемый внешний вид. Телескоп «Хаббл» — цилиндр с солнечными батареями и апертурной крышкой. «Спутник-1» — блестящий шар с антеннами. МКС отличается огромными «крыльями» солнечных панелей. «Кьюриосити» — шестиколёсный марсоход с «головной-камерой» («селфи» сделано на поверхности Марса). «Луноход 1» — советский луноход с характерной круглой крышкой и антеннами. Капсула «Восход-1» — спускаемый аппарат в форме шара с иллюминатором. Лишними вариантами были «Протон» (ракета-носитель) и кубсат (современный формат малых спутников).

б) Все перечисленные объекты, кроме марсохода, находятся на околоземной орбите или вовсе на Земле (музейные экспонаты). «Кьюриосити» же продолжает работу на поверхности Марса.

в) «Спутник-1» был выведен на орбиту 4 октября 1957 года и стал первым искусственным спутником Земли.

Задание 2.

На картинке в одинаковом масштабе приведены Земля и фрагмент изображения некоторой планеты Солнечной системы, на котором запечатлено атмосферное образование — Большое красное пятно (БКП).



Радиус Земли — 6400 километров.

а) Найдите наибольший продольный размер БКП. Ответ выразите в тысячах километров, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [20; 30]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

б) На какой планете наблюдается указанное атмосферное образование?

Ответ:

- На Венере
- На Марсе
- ✓ На Юпитере
- На Сатурне
- На Уране

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

Максимальный балл за задание — 6

Решение.

а) Измерим линейкой диаметр Земли и наибольший продольный размер пятна на изображении. Поскольку масштаб одинаков, это отношение равно отношению реальных размеров:

$$L \approx 6400 \text{ км} \cdot 4 \approx 25 \text{ тыс. км.}$$

Здесь учтено, что БКП на изображении вдвое больше диаметра Земли, а диаметр Земли составляет два земных радиуса.

б) Большое красное пятно — долговременный антициклон в атмосфере Юпитера.

Задание 3.

а) Установите соответствие между изображениями и названиями астрономических явлений.

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

Ответ:

		<p>Метеорный поток¹</p>
		<p>Зодиакальный свет²</p>
		<p>Бриллиантовое кольцо³</p>

			<p>Пояс Венеры⁴</p>
			<p>Гиперлуние Фиолетовые облака</p>

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

б) Какое явление можно иногда наблюдать в средней полосе России в полдень?

Ответ:

- Зодиакальный свет
- Гиперлуние
- Пояс Венеры
- ✓ Бриллиантовое кольцо
- Метеорный поток
- Фиолетовые облака

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

в) Какое явление можно наблюдать и на Луне?

Ответ:

- Метеорный поток
- ✓ Зодиакальный свет
- Пояс Венеры
- Гиперлуние

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

Максимальный балл за задание — 12

Решение.

а) На первом фото видны яркие следы множества метеоров, что указывает на метеорный поток. Второе фото демонстрирует зодиакальный свет — солнечный свет, рассеянный межпланетной пылью, сконцентрированной вблизи плоскости эклиптики. Следующее — характерный эффект «бриллиантового кольца», наблюдаемый за мгновение до начала полной фазы солнечного затмения или через мгновение после её окончания. На четвёртом над горизонтом наблюдается розоватый «пояс Венеры»: в этой области атмосфера рассеивает свет заходящего или восходящего Солнца. Варианты «Фиолетовые облака» и «Гиперлуние» лишние — это не астрономические явления.

б) Эффект «бриллиантового кольца» связан с полным солнечным затмением. Оно может наблюдаться в любое время суток, когда Солнце находится над горизонтом, в том числе в полдень.

в) Зодиакальный свет обусловлен рассеянием солнечного света на межпланетной пыли вблизи плоскости эклиптики. Это явление не связано с атмосферой и может наблюдаться как с Земли, так и с Луны.

¹Изображение: Pinterest. — <https://in.pinterest.com/pin/473722454570868560/>

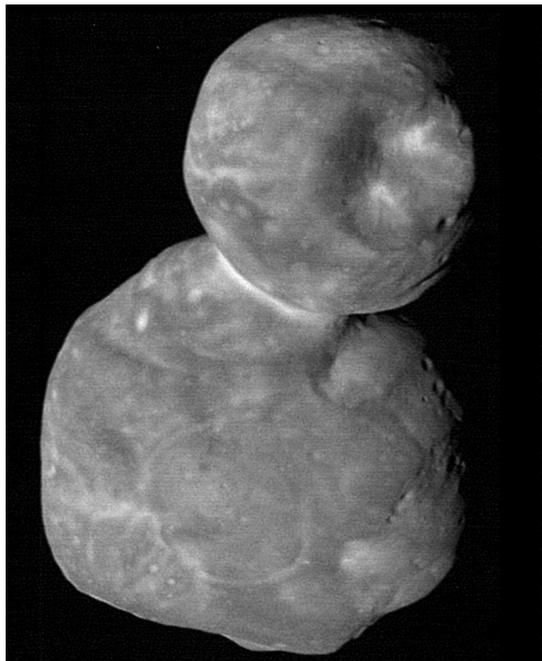
²Изображение: Pinterest. — <https://ru.pinterest.com/pin/60-tons-of-cosmic-dust-fall-to-earth-daily--527906387547652108/>

³Изображение: Александра Киладова / Wikimedia Commons. — <https://clck.ru/3PNZZ7>

⁴Изображение: Sebastian Fischer / Wikimedia Commons. — <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teide.jpg>

Задание 4.

На изображении¹ представлен транснептуновый объект Аррокот. Отметим, что он состоит из двух «склепленных» фрагментов.



а) Какой механизм формирования подобного объекта наиболее вероятен?

Ответ:

- Вымывание водой отдельных участков астероида
- Извержение вулкана
- Сжатие атмосферы планеты
- ✓ Слияние двух отдельных объектов
- Выбивание каменной породы солнечными вспышками и космическими лучами

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

б) Для шара ускорение свободного падения прямо пропорционально его массе и обратно пропорционально квадрату расстояния до его центра. Считайте, что средние плотности фрагментов совпадают. В какой из этих точек на поверхности Аррокота сила притяжения больше?

Ответ:



Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

¹Изображение: NASA, Johns Hopkins APL, SwRI / Wikimedia Commons. — <https://clck.ru/3PNZbB>

в) Каким окажется ответ на предыдущий вопрос, если средние плотности фрагментов различны?

Ответ:



Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 9

Решение.

а) Аррокот состоит из двух слипшихся «долек» с узкой «шеей» — такова форма объекта, возникающего при «мягком» сближении и гравитационном слиянии двух тел в поясе Койпера.

б) Для оценки считаем фрагменты Аррокота шарами. При плотности ρ масса однородного шара $M \propto R^3$, а ускорение свободного падения на расстоянии r от его центра:

$$g \propto \frac{M}{r^2} \propto \frac{R^3}{r^2}.$$

В крайней левой точке:

$$g_A \sim \frac{R_1^3}{R_1^2} + \frac{R_2^3}{(2R_1 + R_2)^2},$$

где R_1 и R_2 — радиусы меньшего(левого) и большего (правого) шаров.

В крайней правой точке

$$g_B \sim \frac{R_2^3}{R_2^2} + \frac{R_1^3}{(2R_2 + R_1)^2}.$$

Возьмём для простоты расчётов $R_2/R_1 \approx 2$ (очевидно, итоговый результат должен зависеть только от того, какой из шаров больше):

$$\frac{g_B}{g_A} = \frac{\frac{R_2^3}{R_2^2} + \frac{R_1^3}{(2R_2 + R_1)^2}}{\frac{R_1^3}{R_1^2} + \frac{R_2^3}{(2R_1 + R_2)^2}} = \frac{2R_1 + \frac{R_1}{5^2}}{R_1 + \frac{8R_1}{4^2}} = \frac{2.04}{1.5} > 1.$$

в) Достаточно рассмотреть ситуации, в которых средняя плотность одного из фрагментов $\rightarrow 0$, так что сила притяжения определяется расстоянием до центра другого фрагмента.

Задание 5.

При наблюдении Сириуса с Земли можно заметить, что у яркой звезды есть компаньон — Сириус B .¹ Максимальное угловое расстояние между ними при наблюдении с Земли составляет около $7.5''$, а расстояние до системы — 2.6 парсека. Парсек — это расстояние, с которого радиус орбиты Земли (1 астрономическая единица) виден под углом $1''$.

а) Определите возможное линейное расстояние между центрами звёзд по имеющимся данным. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых.

Ответ: 19.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

б) Сириус B — это белый карлик. Характерный диаметр белых карликов составляет около 12 тысяч километров, в то время как радиус Сириуса A — около 1.2 млн км. Во сколько раз Сириус A больше по размеру, чем Сириус B ?

Ответ: 200

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла. За ответ 100 — 1 балл.

в) На фотографии можно заметить множество тонких окружностей вокруг Сириуса A . Каким эффектом может быть вызвано данное явление?

Ответ:

- Астигматизм
- Импульсный сброс оболочки Сириуса A
- Расфокусировка телескопа
- ✓ Дифракция
- Сильное повреждение главного зеркала телескопа

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

г) В полночь наблюдатель на территории северной части России увидел Сириус над горизонтом на юге. В какое время года проводились наблюдения?

Ответ:

- ✓ Зимой
- Весной
- Летом
- Осенью

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 12

Решение.

а) Из определения парсека линейный размер в а. е. равен произведению угла в угловых секундах на расстояние в парсеках:

$$s \text{ (а. е.)} = \theta('') \cdot d(\text{пк}) = 7.5 \cdot 2.6 = 19.5 \text{ а.е.}$$

б) Диаметр Сириуса A — около 2.4 млн км, что в 200 раз больше, чем 12 тыс км.

в) Это дифракционная картина яркой звезды.

г) Сириус — звезда зимнего неба: он кульминирует около полуночи в январе — феврале. Летом в полночь он не виден.

Задание 6. Землянка Маша наблюдает Марс в телескоп. Она заметила, что Красная планета очень яркая и находится в противостоянии.

а) Если бы в этот момент кто-нибудь находился на Марсе, в какой конфигурации он бы видел Землю?

Ответ:

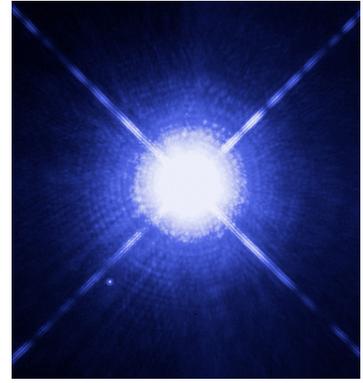
- Верхнее соединение
- Максимальная элонгация
- Западная квадратура
- ✓ Нижнее соединение

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

б) Предположим, что Маша также наблюдает и Луну. Луна находится на угловом расстоянии 180° от Солнца. В какой фазе наблюдается Луна?

Ответ:

- Новолуние
- ✓ Полнолуние



¹Изображение: NASA, ESA, N. Bond, and M. Barstow — https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sirius_A_and_B_Hubble_photo.jpg

- Первая четверть
- Последняя четверть

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

в) Маша составила таблицу с экваториальными координатами нескольких звёзд.

Название звезды	Прямое восхождение	Склонение
Регул	152°	11.8°
Денебола	178°	14.5°
Альгиеба	155°	19.7°
Шератан	169°	15.3°

Выберите пару звёзд, находящихся на наибольшем угловом расстоянии друг от друга:

Ответ:

- Регул и Альгиеба
- Регул и Шератан
- ✓ Регул и Денебола
- Денебола и Шератан

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

г) К какому созвездию относятся перечисленные звёзды?

Ответ:

- Малая Медведица
- ✓ Лев
- Большая Медведица
- Южный Крест
- Октакт

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

д) Можно ли наблюдать данные звёзды на территории России?

Ответ:

- ✓ Да, все эти звезды доступны для наблюдения.
- Видны только Регул, Денебола и Шератан.
- Видны только Регул и Денебола.
- Нет, ни одна из звёзд не видна.

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

Максимальный балл за задание — 12

Решение.

а) Противостояние Марса для земного наблюдателя означает, что Солнце, Земля и Марс находятся на одной прямой, причём Земля — между Солнцем и Марсом. Для марсианского наблюдателя в этот момент Земля находится на одном луче с Солнцем, то есть в нижнем соединении.

б) Элонгация в 180° соответствует положению Луны напротив Солнца на небе — это полнолуние.

в) Угловое расстояние между звёздами с небольшими склонениями можно оценить по теореме Пифагора:

$$d \approx \sqrt{(\delta_1 - \delta_2)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2}.$$

Расстояние Регул — Денебола составляет около 26°, что больше, чем у остальных пар.

г) Регул (α Leo), Денебола (β Leo), Шератан (θ Leo) и Альгиеба (γ Leo) — яркие звёзды созвездия Льва.

д) Все указанные звёзды имеют склонения от +11° до +20°, то есть находятся в Северном полушарии неба.

Задание 7. Две дисковые галактики наблюдаются плашмя.



Радиус первой равен 12 килопарсекам, радиус второй — 18 килопарсекам.

а) Во сколько раз отличаются площади дисков галактик? При расчёте большую величину делите на меньшую.

Ответ округлите до сотых.

Ответ: 2.25

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

б) Расстояние до первой галактики составляет 6 мегапарсеков, до второй — 8 мегапарсеков. Определите видимый угловой радиус первой галактики. Ответ выразите в угловых минутах, округлите до целых.

Ответ: 7

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

Максимальный балл за задание — 7

Решение.

а) Площадь диска $S \propto R^2$. Тогда отношение площадей

$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \left(\frac{18}{12}\right)^2 = 1.5^2 = 2.25.$$

б) Тангенс искомого углового радиуса

$$\operatorname{tg}(\theta) = \frac{R_1}{d_1} = \frac{12 \text{ кпк}}{6000 \text{ кпк}} = 0.002,$$

откуда

$$\theta = \operatorname{arctg}(0.002) = 0.115^\circ \approx 7'.$$

Задание 8. Вариант 1.

а) Наблюдатель на Земле (радиус 6400 км) следит за спутником, обращающимся по орбите радиусом 9000 км. В какой-то момент спутник проходит над головой наблюдателя. Определите расстояние между ними. Ответ выразите в километрах, округлите до целых.

Ответ: 2600

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

б) Спустя некоторое время наблюдатель видит спутник на горизонте. Определите расстояние от наблюдателя до спутника. Ответ выразите в километрах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [6320; 6335]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

в) Чему равен период обращения спутника? Для сведения: период обращения МКС (высота орбиты 400 км) составляет около 90 минут.

Ответ:

- 1.2 часа
- ✓ 2.3 часа
- 23 часам
- 45 часам

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Когда спутник в зените, расстояние до него равно высоте над поверхностью Земли:

$$h = R - R_{\oplus} = 9000 \text{ км} - 6400 \text{ км} = 2600 \text{ км}.$$

б) Треугольник «центр Земли (С) — наблюдатель (О) — спутник (S)» прямоугольный. Тогда

$$OS = \sqrt{CS^2 - CO^2} = \sqrt{R^2 - R_{\oplus}^2} = \sqrt{9000^2 - 6400^2} \text{ (км)} \approx 6328 \text{ км}.$$

в) Радиус орбиты МКС составляет

$$R_{ISS} = 6400 \text{ км} + 400 \text{ км} = 6800 \text{ км}.$$

По третьему закону Кеплера $T \propto R^{3/2}$. Тогда

$$T = T_{ISS} \sqrt{\left(\frac{R}{R_{ISS}}\right)^3} \approx 137 \text{ мин} \approx 2.3 \text{ ч}.$$

**Матрица параметров и ответов к вариантам задания 8.
Пункты а-в)**

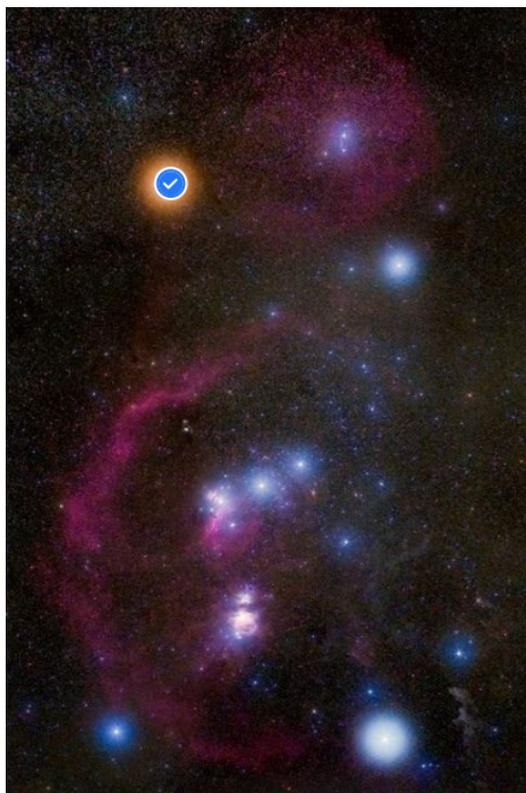
№ варианта	R, км	h, км	OS (мин.), км	OS (макс.), км	T_{ISS}, ч
1	9000	2600	6320	6336	2.3
2	8100	1700	4957	4973	2
3	8500	2100	5586	5602	2.1
4	8900	2500	6177	6193	2.2
5	9300	2900	6740	6756	2.4
6	9700	3300	7281	7297	2.6
7	10100	3700	7805	7821	2.7
8	10500	4100	8316	8332	2.9
9	10900	4500	8815	8831	3
10	11300	4900	9305	9321	3.2
11	11700	5300	9786	9802	3.4
12	12100	5700	10261	10277	3.6
13	12500	6100	10729	10745	3.7
14	12900	6500	11192	11208	3.9
15	13300	6900	11651	11667	4.1
16	13700	7300	12105	12121	4.3
17	14100	7700	12556	12572	4.5
18	14500	8100	13003	13019	4.7
19	14900	8500	13447	13463	4.9
20	15300	8900	13889	13905	5.1
21	15700	9300	14328	14344	5.3

Задание 9. На фотографии представлен участок созвездия Орион¹.



а) Отметьте на фото звезду Бетельгейзе.

Ответ:



Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

б) Экваториальные координаты Бетельгейзе: 5 ч 55 м, +7.5°. Координаты Ригеля: 5 ч 15 м, -8.2°. Определите разность прямых восхождений Бетельгейзе и Ригеля. Ответ выразите в минутах, округлите до целых.

Ответ: 40

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл.

в) Определите разность их склонений. Ответ выразите в градусах, округлите до десятых.

Ответ: 15.7

¹Деррик Лим / Астронет — <https://www.astronet.ru/db/msg/1402162>

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл.

г) Определите разность прямых восхождений Бетельгейзе и Ригеля. Ответ выразите в градусах, округлите до целых. *Примечание:* $360^\circ = 24$ ч.

Ответ: 10

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла.

д) Определите угловое расстояние между этими звёздами на земном небе. Ответ выразите в градусах, округлите до целых.

Ответ: 19

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла. За ответ 18 — 2 балла.

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Бетельгейзе — яркая оранжевая звезда в левом «плече» Ориона (вверху слева на снимке).

б)

$$5^h 55^m - 5^h 15^m = 40^m.$$

в)

$$(+7.5^\circ) - (-8.2^\circ) = 15.7^\circ.$$

г) Заметим, что $1^h = 15^\circ$. 40 мин = $\frac{2}{3}$ часа = 10.0° .

д) Оценим расстояние по теореме Пифагора: $\sqrt{(15.7^\circ)^2 + (10.0^\circ)^2} \approx 19^\circ$.

Задание 10.

а) Какой астрономический объект или явление удалось запечатлеть на фотографии¹?



Ответ:

- Покраснение Луны у горизонта
- ✓ Лунное затмение
- Пепельный свет
- Марс

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

б) На какой географической долготе в 00:00 по всемирному времени этот объект находится в верхней кульминации в день съёмки? Выберите наиболее близкий ответ.

Ответ:

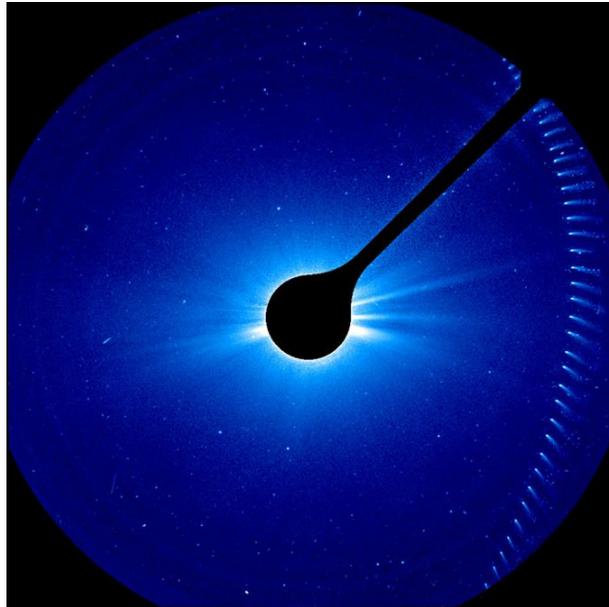
- -170°
- -135°
- -90°

¹Изображение: SpaceX. — https://t.me/spacex_rus/67194

- -45°
- ✓ 0°
- $+45^\circ$
- $+90^\circ$
- $+135^\circ$
- $+179.99^\circ$

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

в) Что представлено на фотографии¹?



Ответ:

- Проявление эффекта Вавилова — Черенкова
- Прохождение Меркурия по диску Солнца, видимое с Венеры
- Множество Мандельброта
- Эмблема федеральной территории «Сириус»
- Континентальный шельф у Северного полюса Земли
- ✓ Нет верного ответа

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Красноватая Луна со «съеденным» краем — характерный вид частной, почти полной фазы лунного затмения: Луна входит в земную тень и освещается преломлённым и рассеянным в атмосфере Земли красным светом.

б) Во время лунного затмения Луна находится в полнолунии, то есть наблюдается на земном небе точно напротив Солнца. Следовательно, в 00:00 UTC её верхняя кульминация приходится на гринвичский меридиан — 0° .

в) Это не затмение и не атмосферный эффект, а изображение солнечной короны с космического коронографа LASCO (обсерватория SOHO). Центральный диск — искусственная «луна», перекрывающая яркий фотосферный диск Солнца. «Гребёнка» ярких точек справа — пролёт кометы 96P/Макхольца.

¹NASA, SOHO, LASCO, Barbara Thompson / APOD. — <https://apod.nasa.gov/apod/ap171113.html>