

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

Задание 1

При наблюдении с Земли все внешние планеты одновременно вступили в противостояние. При этом Венера наблюдалась в максимальной западной элонгации, а Меркурий наблюдался в нижнем соединении. В этот момент наблюдатель на Венере измерил расстояния до всех планет Солнечной системы. Во сколько раз отличается минимальное измеренное расстояние от максимального? В ответе укажите отношение большего расстояния к меньшему, округлите до целого.

Планета	Расстояние от Солнца, а. е.	Планета	Расстояние от Солнца, а. е.
Меркурий	0.39	Юпитер	5.20
Венера	0.72	Сатурн	9.54
Земля	1.00	Уран	19.2
Марс	1.52	Нептун	30.1

Ответ: 57.

Комментарий. Ближайшей планетой является Меркурий, для вычисления расстояния обозначим φ угол Земля–Солнце–Венера. Его косинус равен 0.72. По теореме косинусов найдём расстояние до Меркурия

$$\sqrt{0.72^2 + 0.39^2 - 2 \cdot 0.72 \cdot 0.39 \cdot 0.72} = 0.52 \text{ а. е.}$$

Самым удалённым оказывается Нептун, расположенный на расстоянии

$$\sqrt{0.72^2 + 30.1^2 - 2 \cdot 0.72 \cdot 30.1 \cdot 0.72} = 29.6 \text{ а. е.}$$

Тогда искомое отношение

$$\frac{29.6}{0.52} = 57.$$

Критерии. За правильный ответ ставится **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

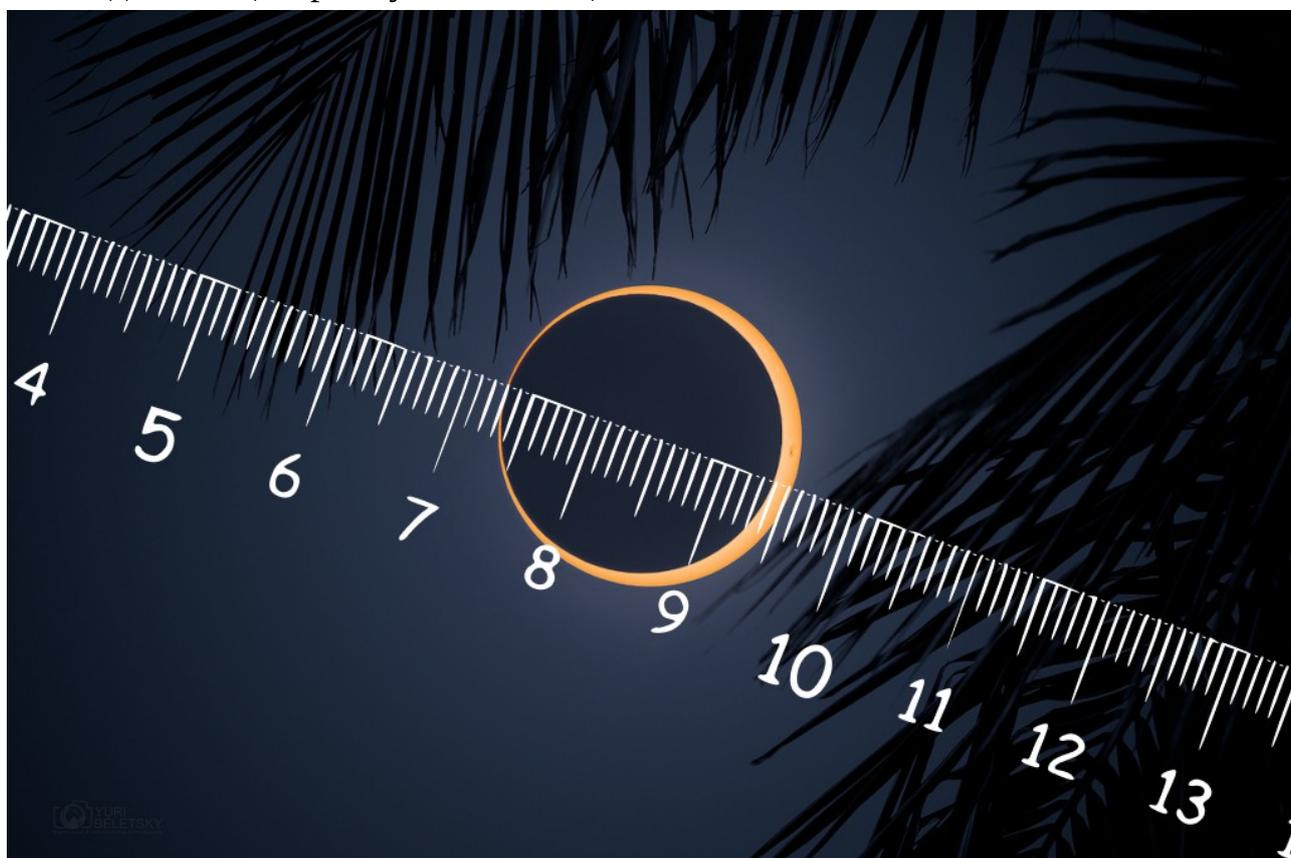
Итого за задачу **2 балла**.

Задание 2

Определите продолжительность полной фазы затмения, которое изображено на фото¹. Считайте, что в течение затмения видимые центры Солнца и Луны окажутся на одном луче зрения.



Для удобства ниже приложена линейка, граница которой проходит ровно через наблюдаемые центры Луны и Солнца.



Ответ укажите в секундах, округлите до целого.

¹ Изображение APOD / Yuri Beletsky — <https://apod.nasa.gov/apod/ap241011.html>.

Ответ: 170.

Комментарий. На фотографии изображено кольцеобразное солнечное затмение. С помощью линейки мы можем измерить диаметры Луны (21 мм) и Солнца (22 мм). Угловой размер Солнца около 32 угловых минут. Разница диаметров составляет $32' / 22 \approx 1.45' \approx 87''$. Угловая скорость движения Луны относительно Солнца равна

$$\frac{360^\circ}{29.5 \text{ дней}} \approx 12.2^\circ / \text{день} \approx 0.51'' / \text{с}.$$

Продолжительность полной фазы составляет $87'' / 0.51'' / \text{с} \approx 171 \text{ с}$.

Критерии. За ответ от 160 до 180 ставится **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задание 3

Во сколько раз пара звёзд 1-й и 3-й звёздной величины ярче, чем две звезды 2-й звёздной величины? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 1.5.

Комментарий. Легко посчитать суммарную звёздную величину двух одинаковых звёзд m_{22} . Обозначим освещённость одной из них E и вычислим разность звёздных величин пары звёзд и одной звезды по формуле Погсона. Тогда

$$m_{22} - 2^m = -2.5 \lg \frac{2E}{E} = -2.5 \lg 2,$$

откуда $m_{22} \approx 1.25^m$. Теперь также с помощью формулы Погсона запишем разность звёздных величин пары двух разных звёзд и звезды «нулевой» звёздной величины.

$$\begin{aligned} m_{13} - 0^m &= -2.5 \lg \left(\frac{E_1 + E_3}{E_0} \right) = -2.5 \lg \left(\frac{E_1}{E_0} + \frac{E_3}{E_0} \right) = \\ &= -2.5 \lg \left(10^{-0.4 \cdot (1^m - 0^m)} + 10^{-0.4 \cdot (3^m - 0^m)} \right) = 0.84^m. \end{aligned}$$

Здесь под E_0 , E_1 и E_3 обозначены освещённости, создаваемые звёздами 0, 1 и 3 звёздной величины. Отношение освещённостей пар звёзд также получаем по формуле Погсона:

$$\frac{E_{13}}{E_{22}} = 10^{-0.4(m_{13} - m_{22})} = 10^{-0.4(0.84^m - 1.25^m)} \approx 1.5.$$

Критерии. За правильный ответ ставится **по 2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задание 4



Определите, в каком месяце была сделана фотография².

- январь
- февраль
- март
- апрель
- май
- июнь
- июль
- август
- сентябрь
- октябрь
- ноябрь
- декабрь

Комментарий. На фотографии видны Плеяды, то есть Луна сейчас в Тельце. Луна на фотографии в третьей четверти, то есть прямое восхождение Солнца примерно на 90° больше прямого восхождения Луны. Солнце наблюдается в Тельце в мае–июне, и при сдвиге на три месяца получаем ответ: август–сентябрь.

Критерии. За выбор любого правильного ответа ставится **2 балла**. В остальных случаях **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

² Изображение: APOD / Alan Dyer — <https://apod.nasa.gov/apod/ap240903.html>.

Задание 5

Воздушный шар, взлетев ровно над точкой на Земле с широтой 60 градусов севернее экватора, пролетел 10 тысяч километров точно на восток, потом 10 тысяч километров точно на юг, потом 10 тысяч километров точно на восток. Определите кратчайшее расстояние вдоль поверхности Земли между точкой финиша и Южным полюсом, ответ выразите в тысячах километров, округлите до целого.

Пример. Если вы получили 55 000 км, то в ответе нужно записать 55.

Ответ: 7.

Комментарий. Неважно, какие шар совершал перемещения вдоль параллелей. Главное, что он приблизился на 10 тысяч километров к Южному полюсу, а изначально был примерно в 3 тысячах километров от Северного полюса. Вспомним, что длина меридиана равна 20 тысяч километров. Таким образом, ему осталось 7 тысяч километров до Южного полюса.

Критерии. За правильный ответ ставится **2 балла**. За ответ от 6850 до 7150 ставится **1 балл**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задание 6

На сколько металличность у ближайшей к Земле звезды отличается от солнечной?

Ответ: 0.

Комментарий. Ближайшая к Земле звезда – это Солнце, поэтому металличность в точности равна солнечной.

Критерии. За правильный ответ ставится **1 балл**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **1 балл**.

Задание 7

Вам даны высоты верхних кульминаций светил в некотором пункте. Расставьте объекты в порядке увеличения азимута захода (отсчитывается от точки юга, в диапазоне от -180° до $+180^\circ$). Считайте, что все светила зайдут.

1. высота 80 градусов над точкой севера
2. высота 80 градусов над точкой юга
3. высота 70 градусов над точкой севера
4. высота 70 градусов над точкой юга
5. высота 90 градусов
6. высота 10 градусов над точкой юга

Ответ: 642513.

Комментарий. Чем ближе к точке юга звезда кульминирует, тем ближе к точке юга она заходит и тем меньше у неё азимут захода.

Критерии. За правильный ответ ставится **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задание 8

В каких созвездиях наблюдается Солнце?

- | | |
|-----------------|------------|
| • Виндемиатрикс | • Рыба |
| • Слон | • Кит |
| • Дева | • Рак |
| • Жираф | • Скорпион |
| • Верблюд | • Моллюск |
| • Телец | • Ихтиандр |

Комментарий. Кроме известных зодиакальных созвездий, край Солнца (не центр) может наблюдаться ещё в Ките.

Критерии. За каждый правильный выбор ставится **0.4 балла**. За каждый неправильный – штраф **-0.5 балла**. Оценка не может быть меньше **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задание 9

Расположите орбиты тел по увеличению скорости в апоцентре орбиты. Все тела обращаются вокруг Солнца.

- 1) апоцентр равен 3 а. е., эксцентриситет 0.1
- 2) апоцентр равен 2 а. е., эксцентриситет 0.2
- 3) апоцентр равен 2 а. е., эксцентриситет 0.3
- 4) апоцентр равен 1 а. е., эксцентриситет 0.4
- 5) перицентр равен 3 а. е., эксцентриситет 0.5

Ответ: 51324.

Комментарий. Обозначим a и e большую полуось и эксцентриситет орбиты тела. Скорость в апоцентре $Q = a(1 + e)$ может быть выражена как

$$v = \sqrt{\frac{GM}{a} \frac{1-e}{1+e}} = v_3 \sqrt{\frac{1 \text{ а.е.}}{a} \frac{1-e}{1+e}} = v_3 \sqrt{\frac{1 \text{ а.е.}}{Q} (1-e)}.$$

Посчитаем скорости для каждого из пунктов в скоростях Земли v_3 :

- 1) $\sqrt{0.9/3} = \sqrt{0.3}$
- 2) $\sqrt{0.8/2} = \sqrt{0.4}$
- 3) $\sqrt{0.7/2} = \sqrt{0.35}$
- 4) $\sqrt{0.6}$
- 5) $Q = a(1+e) = p \frac{1+e}{1-e} = 9, v = \sqrt{0.5/9} \approx \sqrt{0.06}$

Ответ: 51324

Критерии. За правильный ответ ставится **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задание 10

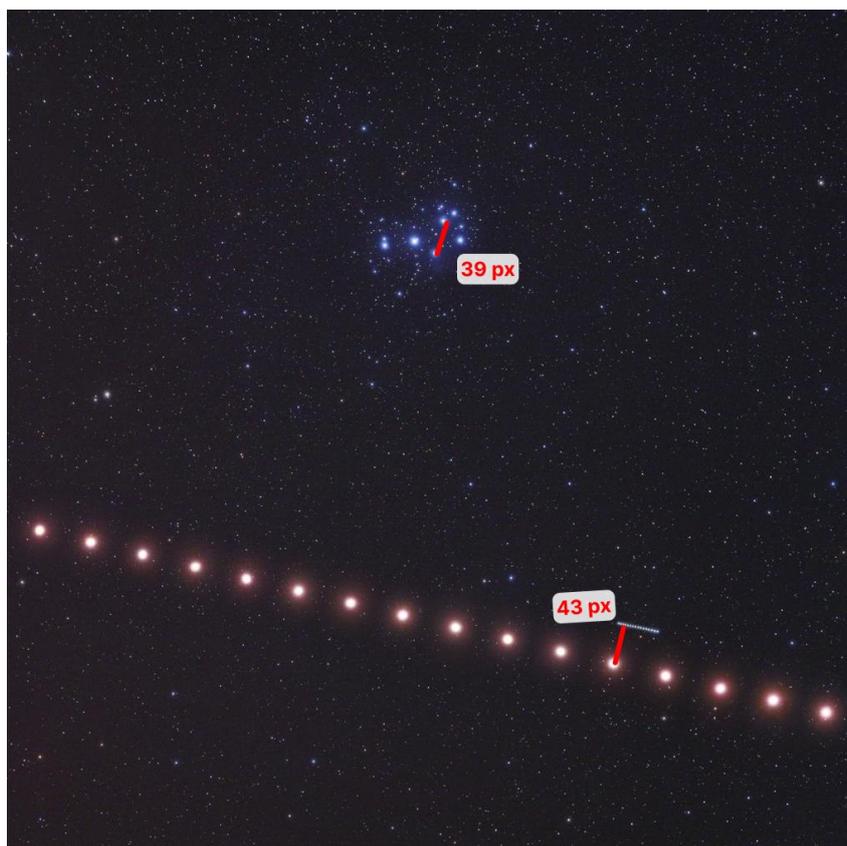


Перед вами коллаж фотографий Марса, совмещённых по далёким звёздам³. Фотосъёмки производились каждую ночь начиная с 12 июля. Оцените минимальное угловое расстояние от Марса до Урана во время наблюдений. Ответ укажите в угловых минутах.

Ответ: от 20 до 40.

Комментарий. Берём для масштаба Плеяды, а их сравниваем с Луной (см. иллюстрацию к заданию 4), угловой размер которой должен быть известен. На приведённом ниже изображении отмечена пара звёзд, расстояние между которыми примерно равно размеру Луны – полградуса. Минимальное угловое расстояние оказывается чуть больше, чем размер Луны, около 30 угловых минут.

³ Изображение: APOD / Tunc Tezel — <https://apod.nasa.gov/apod/ap240802.html>.



Критерии. За правильный ответ (с учётом диапазона) ставится **3 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **3 балла**.

Задание 11

Сколько можно невооружённым глазом ночью одновременно увидеть звёзд, которые ближе к зениту, чем к точке юга и точке севера? Оцените число, считая, что звёзды распределены равномерно. Общее количество звёзд, которые можно увидеть невооружённым глазом равно 6000. Не учитывайте влияние понижения горизонта и атмосферы. Ответ округлите до сотен.

Ответ: 1500.

Комментарий. Множество точек, которые равноудалены от зенита и точки юга, – большой круг, который проходит перпендикулярно отрезку зенит–юг через его середину. Его полюсами будут точки востока/запада, он будет пересекать горизонт под углом 45° . Этот большой круг делит сферу на две полусферы. Точки одной полусферы ближе к зениту, другой – к точке юга. Аналогично есть две полусферы, в одной из которых точки ближе к зениту, чем к югу. Пересечение полусфер – сферический двуугольник с углом при вершине 90° . Двуугольник целиком находится над горизонтом, поэтому ответ на задачу – четверть всех звёзд, которые можно увидеть невооружённым глазом.

Критерии. За правильный ответ ставится **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

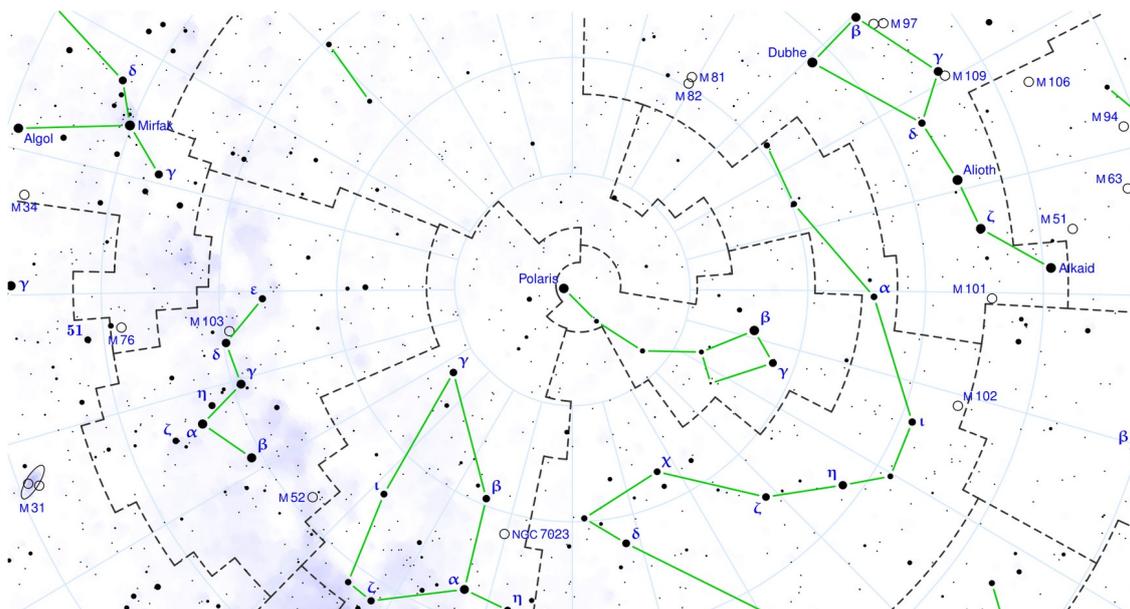
Итого за задачу **2 балла**.

Задание 12

Перед вами фото⁴ метеоров из одного метеорного потока.



Далее представлена схема⁵ границ созвездий в окрестности Полярной звезды.



1. Выберите все созвездия, которые не попали на изображение даже частично.

- Цефей
- Малая Медведица
- Дракон
- Большая Медведица
- Волопас
- Гончие Псы
- **Персей**
- Жираф

4 Изображение: APOD / 엄범석 Bum-Suk Yeom — <https://apod.nasa.gov/apod/ap240111.html>.

5 Изображение создано с помощью PP3 – Celestial Chart Generation

2. Выберите, в каком из этих созвездий находится радиант метеорного потока, которому принадлежат метеоры на фотографии.

- Цефей
- Малая Медведица
- Дракон
- Большая Медведица
- **Волопас**
- Гончие Псы
- Персей
- Жираф

Критерии.

1. За каждый правильный выбор ставится **2 балла**. За каждый неправильный – штраф **-0.5 балла**. Оценка не может быть меньше **0 баллов**.

2. За правильный ответ ставится **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **4 балла**.

Задание 13

Перед вами фотография⁶, на которой запечатлён пуск ракеты.



6 Изображение: APOD / Rory Gannaway — <https://apod.nasa.gov/apod/ap240817.html>.

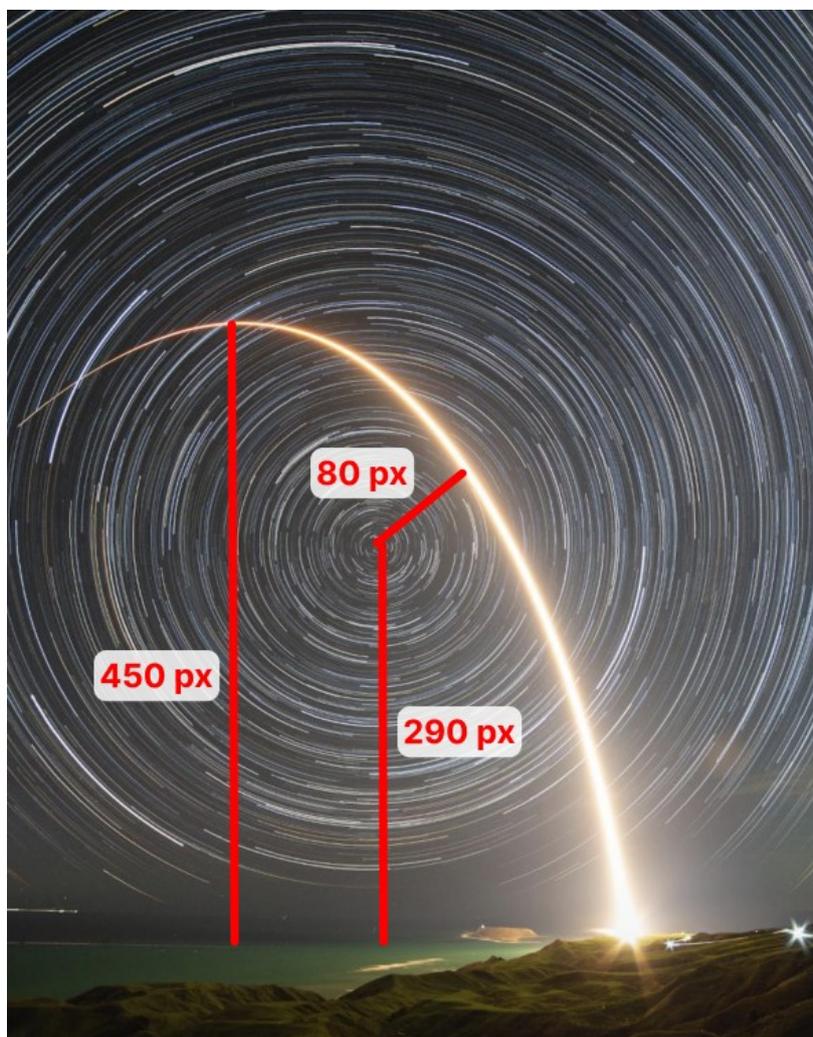
1. Оцените, во, сколько раз максимальная высота ракеты отличается от высоты полюса мира.
2. Оцените минимальное склонение ракеты на фото, считая, что наблюдатель удалён от экватора на 39 градусов в сторону юга.

Ответ: 1) от 1.3 до 1.8; 2) от -85 до -75 .

Комментарий. 1. На фотографии, приведённой ниже, отмечены отрезки, соответствующие максимальной высоте ракеты и высоте Южного полюса мира над горизонтом. Максимальная высота ракеты в $45 / 29 = 1.6$ раз больше высоты полюса мира над горизонтом.

2. Фотография сделана в Южном полушарии, поэтому минимальное склонение соответствует минимальному удалению от южного полюса мира. Точкой, в которой склонение ракеты наименьшее, будет точка вблизи полюса мира. Расстояние до полюса мира в $29 / 8 = 3.6$ раз меньше высоты полюса мира над горизонтом, то есть 11 градусов.

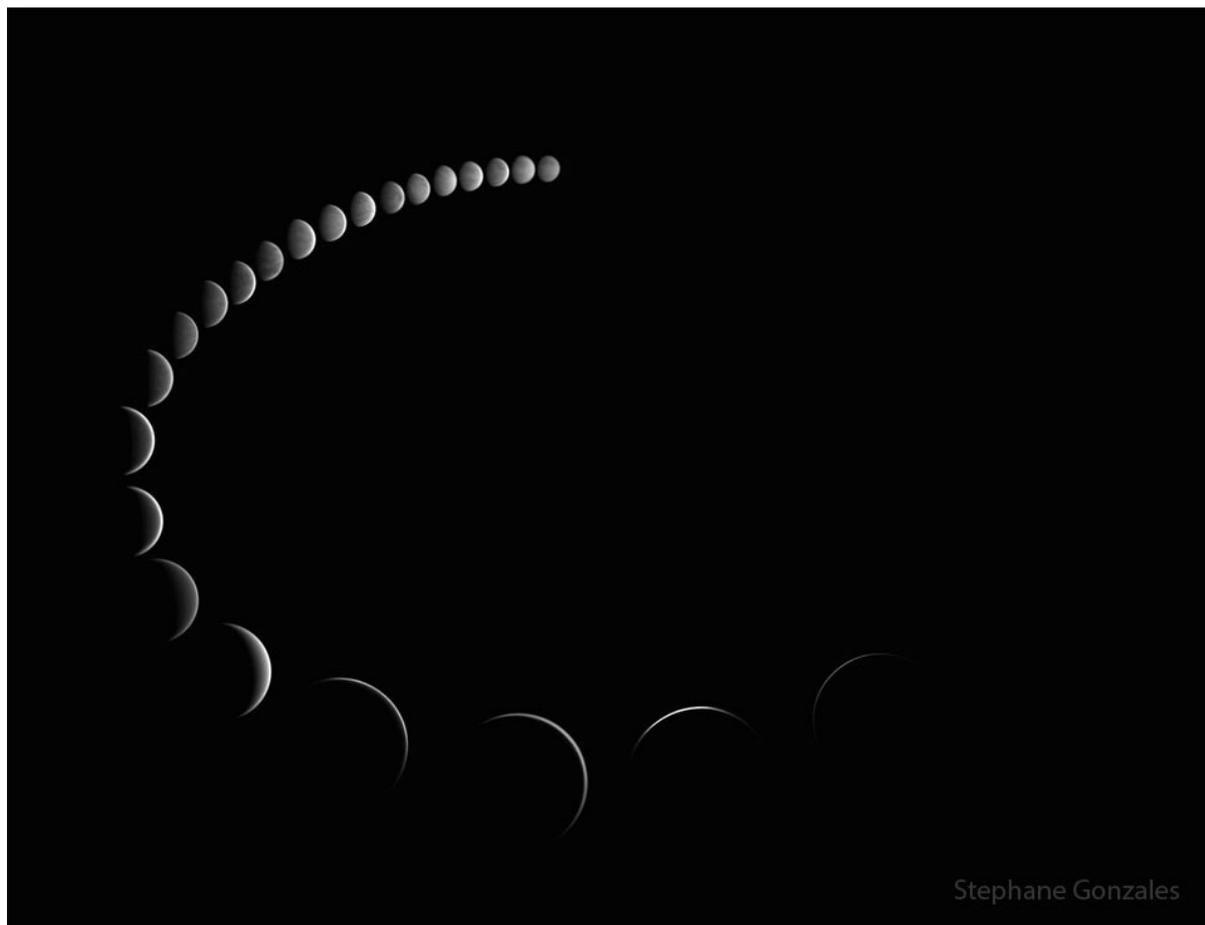
Склонение же будет равно $-(90 - 11) = -79$ градусов.



Критерии. За правильный ответ (с учётом диапазона) ставится **по 2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **4 балла**.

Задание 14



Перед вами коллаж⁷ фотографий планеты, сделанных с Земли. Какое наименьшее время нужно, чтобы сделать все такие фотографии? Ответ дайте в днях, округлите до целых.

Ответ: 292.

Комментарий. С околонулевой фазой могут наблюдаться только Венера или Меркурий (внутренние планеты). А дальше или по наличию атмосферного рассеяния света, из-за которого терминатор «размывается», или по отношению максимального к минимальному размеров (на фото это отношение явно больше 5, а для Меркурия оно не больше 3) понимаем, что это Венера. Минимальное время – время от нижнего до верхнего соединения, то есть половина синодического периода.

Критерии. За ответ до 280 до 300 ставится **2 балла**. За ответ от 55 до 60 (Меркурий) ставится **1 балл**. За ответ от 560 до 600 (забыли поделить на два) ставится **1 балл**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

⁷ Изображение: APOD / Stéphane Gonzales — <https://apod.nasa.gov/apod/ap240108.html>.

Задание 15

Перед вами фотография⁸ космического аппарата. Считайте, что аппарат вращается вокруг Земли по круговой орбите, в одной плоскости с лунной орбитой. Считайте, что при наблюдении со спутника Земля и Луна наблюдаются на одном луче зрения и имеют одинаковый угловой размер. Радиус орбиты Луны равен 380 тыс. км, радиус Земли отличается от радиуса Луны в 3.7 раза.



1. Определите расстояние от аппарата до центра Луны. Ответ дайте в тыс. км.
Пример. Если вы получили 500 000 км, то в ответе нужно записать 500.
2. Определите скорость аппарата относительно Луны. Аппарат движется по круговой орбите, сонаправленно с Луной. Ответ дайте в м/с.

Ответы: 1) 140; 2) от 145 до 155.

Комментарий. 1. Раз угловые размеры совпадают, считая за x расстояние от аппарата до Луны запишем уравнение $\frac{x}{R_{\text{луны}}} = \frac{x+a_{\text{луны}}}{R_{\text{земли}}}$. Преобразовав это уравнение, получим ответ

$$x = \frac{R_{\text{луны}} a_{\text{луны}}}{R_{\text{земли}} - R_{\text{луны}}} = \frac{R_{\text{луны}} \cdot 380\,000}{3.7 R_{\text{луны}} - R_{\text{луны}}} \approx 141\,000 \text{ км.}$$

2. Скорость аппарата в $\sqrt{\frac{x+a_{\text{луны}}}{a_{\text{луны}}}} = \sqrt{\frac{1}{2.7} + 1} = \sqrt{\frac{37}{27}} \approx 1.17$ раза меньше скорости Луны, следовательно, относительная скорость составляет $1 - \frac{1}{1.17} \approx 0.15$ скорости Луны. Скорость Луны равна $\frac{2\pi a_{\text{луны}}}{27.3 \text{ сут} \cdot 86400 \text{ с/сут}} \approx 1 \text{ км/с}$, а значит, относительная скорость спутника равна примерно 150 м/с.

Критерии. За правильный первый ответ ставится **1 балл**. За правильный второй ответ – **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу 3 балла.

⁸ Изображение: APOD / NASA — <https://apod.nasa.gov/apod/ap231130.html>

Задание 16

Во сколько раз отличается длина пути луча света в атмосфере в двух ситуациях: когда мы смотрим на звезду в зените и на горизонте. В ответ укажите отношение, большее единицы, округлённое до целых. Считайте высоту однородной атмосферы 10 км, радиус Земли в 640 раз больше.

Ответ: 36.

Комментарий. В зените путь будет равен высоте атмосферы. На горизонте воспользуемся теоремой Пифагора, так как путь в таком случае проходит по касательной к Земле, то есть под прямым углом к радиусу Земли. Тогда расстояние в высотах атмосферы $\sqrt{(640+1)^2 - 640^2} \approx 35.8$.

Критерии. За правильный ответ **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задание 17

На сколько звёздных величин меняется блеск Солнца, когда Меркурий проходит по его диску? Радиус Меркурия в 286 раз меньше солнечного. Проведите вычисления, считая, что орбита Меркурия круговая. Ответ дайте в звёздных величинах, умноженных на 10^5 .

Пример. Если вы получили $7.2 \cdot 10^{-5}$, то в ответе надо указать 7.2.

Ответ: 3.6.

Комментарий. Освещённость, создаваемая Солнцем, пропорциональна его видимой площади на небе. Необходимо посчитать, какую часть диска Солнца закрывает Меркурий. Для этого найдём отношение их угловых размеров. Меркурий ближе, чем Солнце, в момент прохождения в $1 - 0.39 = 0.61$ раз, следовательно, угловой размер Солнца будет больше в $0.61 \cdot 286 = 174$ раза. Отношение угловых площадей будет 174^2 . Таким образом, освещённость от Солнца уменьшится на $1/174^2 \approx 3.29 \cdot 10^{-5}$ от исходной. Тогда разность звёздных величин во время и вне прохождения Меркурия можно получить из формулы Погсона:

$$\Delta m = -2.5 \lg(1 - 3.29 \cdot 10^{-5}) \approx 3.6 \cdot 10^{-5}.$$

Критерии. За ответ от 3 до 4 ставится **3 балла**. За ответ от 0.00003 до 0.00004 ставится **2 балла**. В остальных случаях – **0 баллов**.

Итого за задачу **3 балла**.