

**Дополнительные корректировки ключей к заданиям муниципального  
этапа Всероссийской олимпиады по астрономии  
2023-2024 учебного года  
9 класс**

**1 задание (2 балла)**

Расположите расстояния в порядке увеличения:

1. Расстояние от Земли до Солнца
2. 100 миллион километров
3. 1.5 а.е.
4. 10 миллиардов километров
5. Расстояние от Луны до Земли

**Решение**

Для простоты переведём указанные величины в одни и те же системные единицы:

- 1) Расстояние от Земли до Солнца, по определению, равно 1 астрономической единице ( $1 \text{ а.е.} = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ м}$ ).
- 2) 100 миллион километров, это  $100 \cdot 10^6 \text{ км} = 100 \cdot 10^9 \text{ м} = 10^{11} \text{ м}$
- 3)  $1.5 \text{ а.е.} = 2.25 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- 4)  $10 \cdot 10^9 \text{ км} = 10 \cdot 10^{12} \text{ м} = 10^{13} \text{ м}$
- 5) Насколько мы знаем, Луна сильно ближе к Земле, чем к Солнцу, т.е. меньше всех остальных величин ( $384000 \text{ км} = 3.84 \cdot 10^8 \text{ м}$ )

**Ответ**

5, 2, 1, 3, 4;

**ИЛИ** последовательно расположены соответствующие позиции в текстовом варианте, то есть

1. Расстояние от Луны до Земли
2. 100 миллион километров
3. Расстояние от Земли до Солнца
4. 1.5 а.е.
5. 10 миллиардов километров

№	Критерии	Оценка
1	Дана верная последовательность объектов.	2
	Дана неверная последовательность объектов	0
	<b>ИТОГО</b>	<b>2</b>

### 8 задание (8 баллов)

Большая полуось орбиты спутника Юпитера Ио составляет  $4,28 \cdot 10^5$  км. В свою очередь, большая полуось орбиты другого спутника Юпитера – Ганимеда, составляет  $10,07 \cdot 10^5$  км, а период обращения 7,15 суток. Орбиты спутников практически круговые.

- 1) Определите период обращения Ио вокруг Юпитера;
- 2) Определите линейную скорость Ио.

### Решение

- 1) Воспользуемся третьим законом Кеплера в применении к Ганимеду и Ио,

$$\frac{T_{\Gamma}^2}{T_{\text{И}}^2} = \frac{a_{\Gamma}^3}{a_{\text{И}}^3} \Rightarrow T_{\text{И}} = T_{\Gamma} \sqrt{\frac{a_{\text{И}}^3}{a_{\Gamma}^3}} = 7.15 \text{ (сут)} \cdot \sqrt{\frac{4.28^3}{10.07^3}} = 1.98 \text{ сут}$$

$$1.98 \text{ сут} = 47,5 \text{ ч} = 1.71 \cdot 10^5 \text{ с} = 5.42 \cdot 10^{-3} \text{ зем г}$$

Здесь  $T_{\Gamma}$ ,  $T_{\text{И}}$  – периоды обращения планеты вокруг Юпитера для Ганимеда и Ио соответственно,  $a_{\Gamma}$ ,  $a_{\text{И}}$  – большие полуоси орбит Ганимеда и Ио соответственно

- 2) Поскольку орбита движения Ио практически круговая (большая полуось в этом случае является радиусом окружности), то справедлива формула для кругового движения

$$v_{\text{И}} = \omega R_{\text{И}} \Rightarrow \left[ \omega = \frac{2\pi}{T} \right] \Rightarrow v_{\text{И}} = \frac{2\pi R_{\text{И}}}{T_{\text{И}}} \equiv \frac{2\pi a_{\text{И}}}{T_{\text{И}}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 4,28 \cdot 10^5 \text{ (км)}}{1.98 \text{ (сут)}}$$

$$v_{\text{И}} = 1.36 \cdot 10^6 \frac{\text{км}}{\text{сут}} = 1.36 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{сут}} = 15740 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 15.74 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

### Ответ

$$T_{\text{И}} = 1.98 \text{ сут} = 47,5 \text{ ч} = 1.71 \cdot 10^5 \text{ с} = 5.42 \cdot 10^{-3} \text{ зем г}$$

$$v_{\text{И}} = 1.36 \cdot 10^6 \frac{\text{км}}{\text{сут}} = 1.36 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{сут}} = 15740 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 15.74 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

### Примечание

- 1) При решении задачи может быть применина «гармония мира»:

$$T^2(\text{сут}) = a^3(\text{зем г})$$

В этом случае его нельзя приравнивать к третьему закону Кеплера, поскольку данное уравнение применяется к телам, тяготеющий центр которых является Солнце. В свою очередь, тяготеющим центром в этой задаче является Юпитер.

За первый критерий выставляется 1 балл. Ответом на критерий 2 в этом случае считать  $T_{\text{И}} = \sqrt{a_{\text{И}}^3}$ . Критерий 3 получает 0 баллов. Критерий 4 оценивается согласно критериям. Критерий 5 получает 1 балл, если при подстановке верного значения большой полуоси получается верный ответ на задачу, в противном случае 0 баллов.

- 2) Справочное значение большой полуоси орбиты Ганимеда составляет  $10.704 \cdot 10^5$  км, в то время как в задаче даётся значение  $10.07 \cdot 10^5$  км. В связи с этим, справочные значения линейной скорости и периода обращения спутника Ио отличаются от ответов данной задачи.

№	Критерии	Оценка
1	Записан третий закон Кеплера в явном или неявном виде (см прим. 1) <b>ИЛИ</b> За критерий 2 стоит 1 балл.	2
	Использована гармония мира (см прим. 1)	1
	В решении задачи нет упоминания закона Кеплера	0
2	Получена или записана формула для вычисления периода обращения спутника Ио	1
	В решении отсутствует формула расчета обращения спутника Ио	0
3	Получено правильное численное значение периода обращения Ио.	1
	Полученное значение периода обращения Ио не совпадает с ответом более, чем на 10%	0
4	Записана или использована связь угловой и линейной скоростей <b>ИЛИ</b> Записана или использована связь линейной скорости с радиусом/большой полуосью орбиты и периодом обращения спутника	2
	Отсутствует связь угловой и линейной скорости <b>И</b> Отсутствует связь линейной скорости с радиусом/большой полуосью орбиты и периодом обращения спутника	0
5	Получено правильное значение линейной скорости Ио.	2
	Полученное значение линейной скорости Ио не совпадает с ответом более, чем на 10%	0
	<b>ИТОГО</b>	<b>8</b>

### 10 задание (8 баллов)

Основная часть массы колец Сатурна простирается от 74500 км до 136800 км от центра планеты. Толщина колец в среднем составляет 10 м. Состоят они из льдинок, средний диаметр которых достигает 5 см. Оцените количество льдинок, если только 3% от объема колец приходится на вещество.

### Решение

Определим объем диска, как объем цилиндра с большим радиусом «минус» объем цилиндра с малым радиусом,

$$V = \pi r^2 h,$$

Где  $V$  – объем цилиндра,  $r$  – радиус основания цилиндра,  $h$  – высота цилиндра. Тогда

$$V_d = V_6 - V_m = \pi h(R^2 - r^2) = 3.14 \cdot 10(1.87 \cdot 10^{16} - 0.55 \cdot 10^{16})$$

$$V_d = 41,4 \cdot 10^{16} \text{ м}^3 = 41,4 \cdot 10^7 \text{ км}^3$$

Здесь  $V_6$  и  $V_m$  объемы большого и малого цилиндров соответственно. Найдем объем, на который приходится вещество, домножим на коэффициент  $\eta = 0.03$ ,

$$V_b = V_d \eta = \eta \pi h(R^2 - r^2) = 1.24 \cdot 10^{16} \text{ м}^3 = 1.24 \cdot 10^7 \text{ км}^3$$

Найдем объем, занимаемый  $N$  частицами, как маленьких сфер

$$V_q = N \cdot \frac{4}{3} \pi \rho^3 = N \cdot \frac{1}{6} \pi d^3$$

Здесь  $\rho$  – радиус частицы. Объем вещества полностью приходится на объем частиц

$$V_q = V_b$$

$$N \cdot \frac{1}{6} \pi d^3 = \eta \pi h(R^2 - r^2)$$

$$N = \frac{6\eta h(R^2 - r^2)}{d^3} = 1,9 \cdot 10^{20}$$

### Ответ

$$1,9 \cdot 10^{20}$$

№	Критерии	Оценка
1	Явно указана или использована формула объема цилиндра	1
	В решении отсутствует формула объема цилиндра	0
2	Явно указана или использована формула объема шара	1
	Расчет годичного параллакса для Нептуна отсутствует	0
3	Получена формула расчета объема диска Юпитера	2
	<b>ИЛИ</b> Рассчитан объем диска Юпитера	
	В решении отсутствует формула расчета объема диска Юпитера	0
4	Получена формула объема для всех частиц	1
	Отсутствует формула для объема всех частиц	0
5	Есть формула взаимосвязи объема всех частиц и объема диска	1
	Отсутствует формула взаимосвязи объема всех частиц и объема диска	0
6	Написана формула для нахождения частиц	1
	Формула для нахождения всех частиц отсутствует	0
7	Получен численно правильный ответ	1
	Получен ответ с ошибкой более 10% от правильного	0
	<b>ИТОГО</b>	<b>8</b>