

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ  
2022 -2023 учебный год  
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП

**9 класс**

**КЛЮЧИ**

***Рекомендации для членов жюри.***

Для обеспечения объективной и единообразной проверки решение каждого задания должно проверяться одним и тем же членом жюри у всех участников, а при достаточном количестве членов жюри - независимо двумя членами жюри с последующей коррекцией существенного различия в их оценках одной и той же работы.

Решение каждого задания оценивается в соответствии с рекомендациями, разработанными предметно-методической комиссией. Альтернативные способы решения, не учтенные составителями заданий, также оцениваются в полной мере при условии их корректности. Во многих заданиях этапы решения можно выполнять в произвольном порядке; это не влияет на оценку за выполнение каждого этапа и за задание в целом.

При частичном выполнении задания оценка зависит от степени и правильности выполнения каждого этапа решения, при этом частичное выполнение этапа оценивается пропорциональной частью баллов за этот этап. При проверке решения необходимо отмечать степень выполнения его этапов и выставленные за каждый этап количества баллов. Если тот или иной этап решения можно выполнить отдельно от остальных, он оценивается независимо. Если ошибка, сделанная на предыдущих этапах, не нарушает логику выполнения последующего и не приводит к абсурдным результатам, то последующий этап при условии правильного выполнения оценивается полностью.

Жюри не учитывает решения или части решений заданий, изложенные в черновике, даже при наличии ссылки на черновик в чистовом решении. Об этом необходимо отдельно предупредить участников перед началом олимпиады.

Жюри должно придерживаться принципа соразмерности: так, если в решении допущена грубая астрономическая или физическая ошибка с абсурдным выводом (например, скорость больше скорости света, масса звезды, существенно меньшая реальной массы Земли и т.д.), все решение оценивается в 0 баллов, тогда как незначительная математическая ошибка должна снижать итоговую оценку не более чем на 2 балла.

Ниже представлена примерная схема оценивания решений по традиционной 8-балльной системе:

0 баллов - решение отсутствует, абсолютно некорректно, или в нем допущена грубая астрономическая или физическая ошибка;

1 балл - правильно угадан бинарный ответ («да-нет») без обоснования;

1-2 балла - попытка решения не принесла существенных продвижений, однако приведены содержательные астрономические или физические соображения, которые можно использовать при решении данного задания;

2-3 балла - правильно угадан сложный ответ без обоснования или с неверным обоснованием;

3-6 баллов - задание частично решено;

5-7 баллов - задание решено полностью с некоторыми недочетами;

8 баллов - задание решено полностью.

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

## Решения

### Задание 1 (8 баллов)

На нашей планете требуется возвести новую обсерваторию, работающая в оптическом диапазоне. Если бы Вам представилось возможность выбрать место для её строительства, то какие наиболее важные факторы Вы бы учли и почему?

#### Решение

Самые важные факторы — это большое количество ясных дней, отсутствие засветки неба от близлежащих населенных пунктов и стабильность атмосферы, от которой будет сильно зависеть качество изображения. Часто даже при ясной погоде из-за «атмосферного дрожания» изображения звезд размываются до размеров в несколько угловых секунд. Это сильно ограничивает разрешающую способность инструмента. И ещё один фактор нужно принять во внимание — доступность наблюдениям как можно большей части небесной сферы. Чем ближе обсерватория будет к экватору, тем большая часть небесной сферы будет доступна наблюдениям. Но, как известно, в экваториальной зоне Земли очень мало ясных дней и очень большая влажность. Поэтому современные обсерватории строятся, в основном, в тропических поясах нашей планеты.

### Задание 2 (8 баллов)

Геостационарные спутники обращаются вокруг Земли с периодом, равным периоду обращения Земли вокруг оси. Такая геостационарная орбита удобна тем, что фактически спутник всегда висит над одной и той же точкой планеты. Если бы Луна не была бы спутником Земли, а самостоятельно бы вращалась вокруг Солнца, то на каком расстоянии от ее центра могла проходить подобная «мун-

стационарная орбита»? Считать, что масса и период обращения Луны вокруг оси не изменились.

Решение

1. В предположении круговых орбит средняя линейная скорость аппарата

$$\text{будет равна } V = \frac{2\pi R}{T}$$

2. С другой стороны, скорость обращения аппарата можно выразить

$$\text{следующим образом } V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

3. Приравняем обе правых части и немного преобразуем

$$\frac{2\pi R}{T} = \sqrt{\frac{GM}{R}} \Rightarrow \frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{GM}{R} \Rightarrow 4\pi^2 R^3 = GMT^2 \Rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

4. Возьмем данные для Луны и преобразуем их в систему СИ:  $T = 2358720$  секунд,  $M = 7,40741 \cdot 10^{22}$  кг

5. Получим ответ и выразим его в километрах  $R = 88632$  километра

### Задание 3 (8 баллов)

Возможно ли, чтобы при движении по эллиптической орбите, апоцентрическое расстояние было бы вдвое больше перигентрического?

Решение

1. Запишем уравнения для апоцентрического и перигентрического расстояний:

$$R_a = a(1+e)$$

$$R_p = a(1-e)$$

2. Кроме того, мы знаем, что по условию -  $R_a = 2R_p$ ,

3. Получаем

$$R_a = 2R_p = a(1+e) \Rightarrow 2a(1-e) \Rightarrow (1+e) = 2(1-e) \Rightarrow 1+e = 2-2e \Rightarrow 3e = 1 \Rightarrow e = \frac{1}{3}$$

4. Так как значение эксцентриситета внутри диапазона от 0 до 1, такой тип орбиты вполне возможен.

#### Задание 4 (8 баллов)

Потоки частиц солнечного ветра могут распространяться по космосу со скоростью 1200 км/с. Если сейчас наблюдатели на Земле зафиксируют вспышку на Солнце, то через какой промежуток времени поток частиц достигнет нашей планеты?

Решение

1. Астрономическая единица (R) содержит 149,6 млн километров (допустимо 150 млн километров)
2. Скорость света (V) – 300 000 километров в секунду.
3. Расстояние между Землей и Солнцем свет пройдет за  $T_1 = \frac{R}{V} \approx 8$  минут
4. Скорость потока частиц (w) – 1200 км/с. Расстояние между Землей и Солнцем частицы пройдут за  $T_2 = \frac{R}{w} \approx 34,6$  часа.
5. Частицы доберутся до Земли после обнаружения вспышки за  $t = T_2 - T_1$ .  
Но поскольку время распространения света существенно меньше времени распространения частиц, этим шагом можно пренебречь.

#### Задание 5 (8 баллов)

Вычислить численное значение отношения квадрата периода обращения спутников Юпитера к кубу большой полуоси их орбит (на основе 3 закона Кеплера).

Решение

1. Третий закон Кеплера:

$$\frac{T^2}{a^3} = const$$

2. Для движения по круговой орбите его можно переписать так:

$$\frac{T^2}{R^3} = const$$

3. Скорость движения при этом будет равна:

$$v = \frac{2 \times \pi \times R}{T}$$

4. Движение по круговой орбите возможно при условии, что скорость ( $v$ ) является первой космической:

$$v_1 = \sqrt{\frac{G \times M}{R}}$$

где  $G$  – гравитационная постоянная,  $M$  – масса центрального тела (в нашем случае – Юпитера),  $R$  – радиус орбиты.

5. Возводя в квадрат правые части двух последних уравнений и приравнивая их, можно получить искомое значение константы третьего закона Кеплера:

$$\frac{4 \times \pi^2 \times R^2}{T^2} = \frac{G \times M}{R}$$

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4 \times \pi^2}{G \times M}$$

Т.е.

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4 \times 9,86}{6,67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^{27}} = 2,96 \times 10^{-16} \left[ \frac{\text{с}^2}{\text{м}^3} \right]$$

### Задание 6 (8 баллов)

Два объекта в области пояса Койпера движутся по круговым орбитам относительно Солнца. Один расположен на расстоянии  $r_1 = 34,2$  а.е., а другой – на расстоянии  $r_2 = 44,8$  а.е. Какой из объектов движется быстрее и чему будет равна разница угловых расстояний между ними за 1 земной год?

Решение

1. В соответствии с третьим законом Кеплера

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \frac{T_{\text{Земли}}^2}{R_{\text{Земли}}^3} = 1 \left[ \frac{\text{год}^2}{\text{а. е.}^3} \right]$$

2. Отсюда

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = 1 \rightarrow T_1 = \sqrt{R_1^3}$$

$$\frac{T_2^2}{R_2^3} = 1 \rightarrow T_2 = \sqrt{R_2^3}, \text{ т. е.}$$

$$T_1 = \sqrt{34,2^3} = \sqrt{40001,69} = 200[\text{лет}]$$

$$T_2 = \sqrt{44,8^3} = \sqrt{89915,39} \approx 300[\text{лет}]$$

3. Следовательно, за 1 год первый астероид проходит по орбите дугу

$$l_1 = \frac{360^\circ}{200} = 1,8^\circ$$

Второй астероид за 1 год проходит по орбите дугу

$$l_2 = \frac{360^\circ}{300} = 1,2^\circ$$

4. Следовательно, первый астероид движется быстрее, что, разумеется, совершенно естественно, поскольку располагается ближе к Солнцу.

5. Разница угловых расстояний между объектами за год составляет

$$\Delta l = 1,8^\circ - 1,2^\circ = 0,6^\circ$$