

**Ключи и критерии оценивания к задачам муниципального этапа  
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии  
2020-2021 учебного года  
9 класс**

***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.

Справочная информация, доступная учащимся 9 класса для решения представленных задач муниципального тура взята из Приложения 2 к «Методическим рекомендациям по проведению школьного и муниципального этапов Всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2020/21 учебном году»):

масса Солнца -  $2 \cdot 10^{30}$  кг

масса Юпитера -  $2 \cdot 10^{27}$  кг

масса Земли -  $6 \cdot 10^{24}$  кг

масса Луны –  $7,35 \cdot 10^{22}$  кг

радиус орбиты Земли (среднее значение) –  $1,5 \cdot 10^{11}$  м

радиус орбиты Луны (среднее значение) –  $3,84 \cdot 10^8$  м

синодический лунный месяц – 29,5 суток

гравитационная постоянная –  $6,67 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>·кг<sup>-1</sup>·с<sup>-2</sup>

### ***Ключи к заданиям и рекомендуемые критерии оценивания***

**1. Каков минимально возможный промежуток времени между солнечным и лунным затмениями?**

**Решение.**

Затмения наступают, когда Луна, Земля и Солнце оказываются на одной прямой при совпадении плоскостей орбит.

Минимальным промежутком времени является половина синодического месяца, т. к. через этот период Луна может вновь оказаться на одной прямой с Землей и Солнцем в случае, если плоскости орбит совпадают:

$$T_{\min} = 29,5 \text{ сут} / 2 = 14,75 \text{ сут}$$

**Оценивание:**

Верный ответ в форме текста или числа, без пояснения – 4 балла.

Развернутый ответ, с пояснением взаимного расположения Солнца и Луны по отношению к земному наблюдателю – 8 баллов.

## 2. Фазы Луны. Приливы.

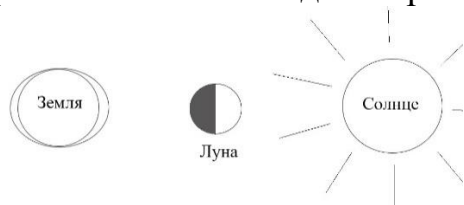
**Приливы.** Изобразите взаимное расположение Земли, Луны и Солнца для основных фаз Луны (новолуние, первая четверть, полнолуние и третья четверть) и положение приливных горбов.

Укажите в каких из этих положений величина приливов больше, а в каких меньше?

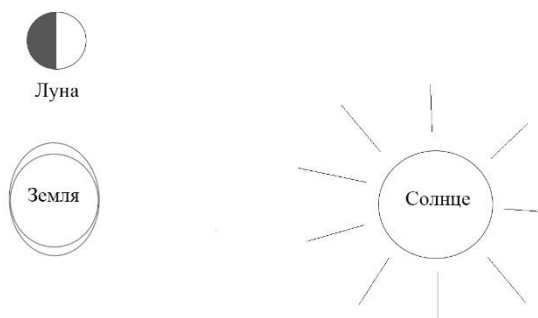
Найдите отношение сил гравитационного взаимодействия (сил тяготения) Луна-Земля и Солнце-Земля ( $\frac{F_{\text{Солнце-Земля}}}{F_{\text{Луна-Земля}}}$ ).

### Решение.

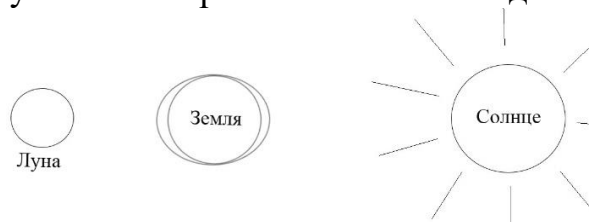
**Новолуние.** Силы тяготения со стороны Луны и Солнца действуют на поверхность Земли по одной прямой.



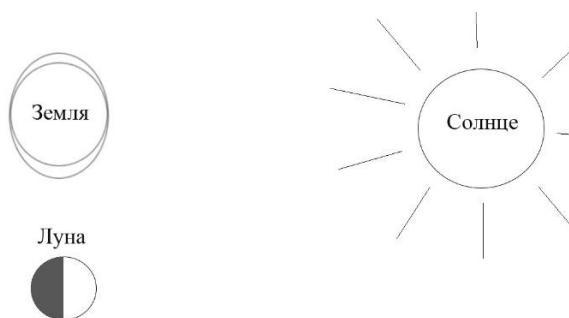
**1 четверть.** Силы тяготения со стороны Луны и Солнца действуют на поверхность Земли по одной прямой в перпендикулярных направлениях.



**Полнолуние.** Новолуние. Силы тяготения со стороны Луны и Солнца действуют на поверхность Земли по одной прямой.



**3 четверть.** Силы тяготения со стороны Луны и Солнца действуют на поверхность Земли по одной прямой в перпендикулярных направлениях.



Величина приливов в положениях Луны «1 четверть» и «3 четверть» меньше, чем в положениях «Новолуние» и «Полнолуние». Это связано с тем, что в положениях Луны «1 четверть» и «3 четверть» гравитационные влияния Солнца и Луны действуют по одной прямой (сизигийные приливы), а в положениях «Новолуние» и «Полнолуние» - в перпендикулярных направлениях (квадратурные приливы).

Сила гравитационного взаимодействия двух тел с массами  $M$  и  $m$ , находящихся на расстоянии  $R$  друг от друга, определяется законом тяготения Ньютона:

$$F = \frac{G \times M \times m}{R^2}$$

Таким образом, отношение сил взаимодействия Солнце-Земля и Луна-Земля равно

$$\frac{F_{\text{Солнце-Земля}}}{F_{\text{Луна-Земля}}} = \frac{M_{\text{Солнце}} \times m_{\text{Земля}} \times R_{\text{Луна-Земля}}^2}{R_{\text{Солнце-Земля}}^2 \times M_{\text{Луна}} \times m_{\text{Земля}}}$$

$$\frac{F_{\text{Солнце-Земля}}}{F_{\text{Луна-Земля}}} = \frac{2 \times 10^{30} \times 14,8 \times 10^{16}}{2,24 \times 10^{22} \times 7,35 \times 10^{22}} = \frac{29,6 \times 10^{46}}{16,5 \times 10^{44}} = 179,4$$

#### Критерии оценивания:

Правильная запись закона тяготения – 1 балл.

Верный расчет отношения сил гравитационного взаимодействия (сил тяготения) Луна-Земля и Солнце-Земля ( $\frac{F_{\text{Луна-Земля}}}{F_{\text{Солнце-Земля}}}$ ) – 2 балла.

За каждое верное изображение приливов при различных фазах луны – по 1 баллу.

Правильный вывод о том, в каких положениях величина приливов больше – 1 балл.

**3. Масса некой планеты в 6 раз больше массы Земли. Каков радиус этой планеты, если ускорение свободного падения на ее поверхности такое же, как на Земле?**

**Решение.**

Как следует из второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения,

$$mg = G \frac{mM_3}{R_3^2},$$

$m$  – масса тела, находящегося на поверхности Земли.

Отсюда

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}.$$

Аналогично получаем

$$a = G \frac{M}{R^2},$$

здесь  $a$  – ускорение свободного падения на планете.

Приравняв выражения для  $a$  и  $g$ , находим

$$R = R_3 \sqrt{\frac{M}{M_3}} = R_3 \sqrt{6} = 2,45R_3 = 15,7 \cdot 10^6 \text{ м} = 157000 \text{ км}.$$

Таким образом, радиус планеты равен 15700 км.

**Оценивание:**

Верный ответ без пояснения – 4 балла,

Развернутый ответ и верная формула расчета - 6 баллов,

Развернутый ответ, верная формула расчета и точные вычисления (без ошибки) – 8 баллов.

**4. Как соотносятся синодические периоды внутренних и внешних планет и почему? (Необходимо дать определение синодического периода и привести формулы для расчета периодов и их отношения).**

**Решение.**

*Определение:* синодическим периодом называется промежуток времени между одинаковыми фазами планеты при наблюдении ее с Земли.

Синодический период для внутренних планет может быть рассчитан по формуле:

$$\frac{1}{S_{\text{внутренняя планета}}} = \frac{1}{T_{\text{внутренняя планета}}} - \frac{1}{T_{\text{Земли}}}$$

Где  $T$  – сидерический (звездный) период планеты и Земли, поскольку Земля отстает в своем движении относительно внутренних планет (они движутся быстрее). Для Земли этот период равен 1 году. В земных годах эта формула может быть переписана следующим образом:

$$\frac{1}{S_{\text{внутренняя планета}}} = \frac{1}{T_{\text{внутренняя планета}}} - 1$$

Для внешних планет ситуация – обратная: они движутся медленнее, чем Земля:

$$\frac{1}{S_{\text{внешняя планета}}} = \frac{1}{T_{\text{Земли}}} - \frac{1}{T_{\text{внешняя планета}}},$$

или

$$\frac{1}{S_{\text{внешняя планета}}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{внешняя планета}}}$$

Следовательно, отношение синодических периодов внутренних и внешних планет может быть определено из уравнения:

$$\frac{S_{\text{внутренняя}}}{S_{\text{внешняя}}} = \frac{\left(1 - \frac{1}{T_{\text{внешняя}}}\right)}{\left(\frac{1}{T_{\text{внутренняя}}} - 1\right)}$$

#### **Оценивание:**

Определение может быть дано в другой форме (например: синодический период планеты – это промежуток времени между ее двумя последовательными соединениями с Солнцем) и считается правильным, если в нем верно отражено содержание понятия – 2 балла.

Верная формула для определения синодического периода для внутренних планет – 2 балла.

Верная формула для определения синодического периода для внешних планет – 2 балла.

Верное выражение для отношения этих величин – 2 балла.

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

#### **Решение.**

Третий закон Кеплера:

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

Для движения по круговой орбите его можно переписать так:

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

Скорость движения при этом будет равна:

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

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

$$v_I = \sqrt{\frac{G \times M}{R}},$$

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

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.

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

**Оценивание:**

Верная запись третьего закона Кеплера – 2 балла.

Верный вывод величины константы – 4 балла.

Верный расчет ее значения – 2 балла.

Арифметическая ошибка в расчете – минус 1 балл.

(Округленный до целого значения ответ также считается верным).