

**Муниципальный этап  
всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии  
2019/20 учебный год  
11 класс**

**Задание № 1**

**Условие:** Какая планета проходит большее расстояние по орбите за 1 год – Марс или Юпитер? Орбиты считать круговыми. Обоснуйте ответ.

**Решение:** По III закону Кеплера ( $T^2/a^3 = \text{const}$ ). Скорость планеты равна  $V = 2\pi a/T = 2\pi a / (\text{const} \cdot a^3)^{1/2} = 2\pi / (\text{const} \cdot a)^{1/2}$

Значит, чем больше значение большой полуоси планеты (радиуса орбиты планеты), тем меньше должна быть скорость планеты. Таким образом, чем дальше планета от Солнца, тем меньшее расстояние она проходит за единицу времени. Т. е. Марс пройдет большее расстояние за 1 год, чем Юпитер.

*Примечание:* альтернативные способы нахождения зависимости скорости от радиуса орбиты (через обобщенный III закон Кеплера, решение задачи о равномерном движении по окружности, первую космическую скорость и т. п.) при отсутствии ошибок также оцениваются полным баллом.

**Критерии оценивания**

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.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

**Задание № 2**

**Условие:** Спутник Нептуна Тритон имеет радиус орбиты, равный радиусу орбиты Луны вокруг Земли, но делает один оборот вокруг Нептуна

за 6 суток. Во сколько раз отличаются массы Нептуна и масса Земли? Какая из них больше?

**Решение:** Из закона всемирного тяготения и второго закона Ньютона следует, что центростремительное ускорение при движении по круговой орбите радиуса  $R$  вокруг тела массы  $M$  равно  $a = GM/R^2$ . С другой стороны, оно равно  $a = v^2/R$ , где  $v$  — орбитальная скорость. Отсюда следует, что, если радиусы орбит одинаковы, масса  $M$  пропорциональна  $v^2$ . Луна делает оборот по своей орбите примерно за месяц. Так как длины орбит одинаковы, то орбитальная скорость Тритона примерно в 5 раз больше, чем орбитальная скорость Луны. Следовательно, масса Нептуна в  $5^2 = 25$  раз больше массы Земли.

*Примечание:* альтернативные способы решения (через III закон Кеплера, первую космическую скорость и т. п.) при отсутствии ошибок также оцениваются полным баллом.

#### **Критерии оценивания**

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.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

#### **Задание № 3**

**Условие:** На какой высоте и над какими точками над поверхностью Земли летают геостационарные спутники? Напомним, что геостационарный спутник постоянно «висит» над какой-то одной точкой земной поверхности.

*Справочные данные:* радиус орбиты Луны - 384 тыс. км, период обращения Луны вокруг Земли - 27.3 сут.

**Решение:** Спутник, плоскость орбиты которого не совпадает с плоскостью экватора, не может постоянно находиться над одной и той же точкой земной поверхности. Следовательно, все геостационарные спутники

находятся над экватором, при этом период обращения такого спутника вокруг Земли должен совпадать с периодом обращения Земли вокруг своей оси (т. е. равняться примерно 24 часам).

По III закону Кеплера:

$$(T_{\text{Л}} / T_{\text{С}})^2 = (a_{\text{Л}} / a_{\text{С}})^3$$

$$a_{\text{С}} = a_{\text{Л}} \cdot (T_{\text{С}} / T_{\text{Л}})^{2/3} = 384 \cdot 10^3 \cdot (1 / 27.3)^{2/3} = 42,4 \cdot 10^3 \text{ км}$$

Высота спутника над поверхностью Земли равна разности радиуса орбиты спутника и радиуса Земли, т. е.  $42,4 - 6,4 = 36$  тыс. км.

*Примечание:* альтернативные способы нахождения радиуса орбиты спутника (через обобщенный III закон Кеплера, решение задачи о равномерном движении по окружности и т. п.) при отсутствии ошибок также оцениваются полным баллом.

### **Критерии оценивания**

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

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.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

### **Задание № 4**

**Условие:** Некоторая звезда вдвое больше и вдвое горячее Солнца. Во сколько раз её светимость превышает солнечную?

**Решение:** По закону Стефана-Больцмана, светимость звезды пропорциональна квадрату её радиуса и четвертой степени температуры. Поэтому данная звезда будет излучать сильнее Солнца в  $2^2 \cdot 2^4 = 64$  раза.

### **Критерии оценивания**

0 баллов — решение отсутствует, абсолютно некорректно, или в нём допущена грубая астрономическая или физическая ошибка;

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.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

### **Задание № 5**

**Условие:** Некоторое тело движется в перигелии своей орбиты в четыре раза быстрее, чем в афелии. Найдите эксцентриситет его орбиты.

**Решение:** Самый простой способ решения этой задачи - вспомнить, что по II закону Кеплера тело в ходе своего движения вокруг центральной массы (в данном случае - Солнца) за равные промежутки времени описывает равные площади. В перигелии и афелии скорость тела перпендикулярна направлению на центр, поэтому мы можем сразу получить, что в перигелии тело вчетверо ближе к Солнцу, чем в афелии. Эксцентриситет орбиты равен:  $e = (4 - 1) / (4 + 1) = 0.6$ .

### **Критерии оценивания**

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

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.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

### **Задание № 6**

**Условие:** Хороший футболист может придать мячу скорость 30 м/с. На астероидах какого размера можно играть в футбол? Плотность астероидов считать равной плотности Земли.

**Решение:** Вторая космическая скорость на поверхности тела равна

$$v = (2GM/r)^{1/2} = (8\pi G\rho/3)^{1/2} \cdot r.$$

Здесь  $M$ ,  $r$  и  $\rho$  - масса, радиус и плотность тела. Получается, что при постоянной плотности вторая космическая скорость прямо пропорциональна радиусу. Скорость полета мяча в 370 раз меньше второй космической скорости для Земли, поэтому она совпадет со второй космической скоростью для тела, с радиусом в 370 раз меньшим радиуса Земли - 17 км.

**Критерии оценивания**

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

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.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

**Всего за работу 48 баллов**