

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЧЛЕНОВ ЖЮРИ
ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ – 120 МИН.
МАКСИМАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО БАЛЛОВ – 100**

Оценивание заданий проводится по обобщенной шкале:

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- задание решено полностью;

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

Максимальная оценка – 48 баллов, итоговая оценка переводится в шкалу 100 баллов.

Алгоритм перевода

Итоговая оценка за выполнение заданий определяется путём сложения суммы баллов, набранных участником за выполнение заданий с последующим приведением к 100-балльной системе.

Максимальная оценка по итогам выполнения заданий 100 баллов, оценка за этап не более 48 баллов, тогда:

суммарный балл за выполнение заданий/максимальное количество баллов*100,

Например, участник суммарно набрал 32 балла: $32/48*100=66,6$

В случае дробного итогового результата он округляется до десятых

Задание № 11-1 (8 баллов).

Объект солнечной системы, имеющий форму эллипсоида, открытый 29 июля 2005 года, имеет 2 спутника: Хииака и Намака. Он движется, делая полный оборот вокруг Солнца за 285 земных лет, имеет эксцентриситет орбиты 0,195 и находится от Солнца на расстоянии 6495 миллионов километров. О каком объекте идет речь? В какую систему тел включен этот объект? Изобразите на рисунке его траекторию движения. Покажите на рисунке находящиеся рядом известные объекты.

Возможное решение.

Проанализируем данные задачи. Период составляет 285 земных лет, используем 3-й закон Кеплера, для облегчения расчетов лучше использовать его в следующей форме:

$$\frac{T_H^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a_H^3}{a_{\oplus}^3}.$$

Здесь T_n – звездный период неизвестной планеты, a_n – среднее расстояние от Солнца до планеты (большая полуось орбиты), T_{\oplus} – звездный период Земли ($T_{\oplus} = 1$ год), a_{\oplus} – большая полуось земной орбиты ($a_{\oplus} = 1$ а. е. = $149,6 \cdot 10^6$ км), тогда:

$$T_n^2 \text{ (в годах)} = a_n^3 \text{ (в а.е.)}$$

Отсюда получаем $a_n = (T_n)^{2/3} = (285)^{2/3} = 43,3$ а.е. = $43,3 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 6478,8 \cdot 10^6$ км.

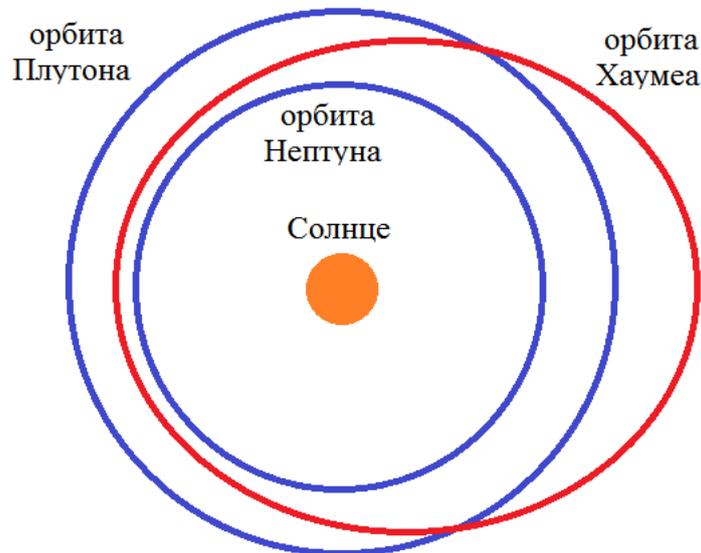
Если большая полуось орбиты $a_n = 43,3$ а.е. и эксцентриситет $e = 0,195$, то:

$$q = (1 - e) a = (1 - 0,195) 43,3 \text{ а.е.} = 34,86 \text{ а.е.};$$

$$Q = (1 + e) a = (1 + 0,195) 43,3 \text{ а.е.} = 51,74 \text{ а.е.}$$

В перигеуме объект находится на расстоянии 34,86 а.е. от Солнца, то есть располагается за Нептуном. В апогеуме объект находится за Плутоном на расстоянии примерно 51,74 а.е. от Солнца. Отсюда следует, что данный объект относится к транснептуновым, входит в состав Пояса Койпера.

Судя по форме объекта, количеству и именам спутников, речь идет о карликовой планете Хаумеа. Из заметных известных тел рядом с этой планетой можно отметить в первую очередь Нептун и Плутон. Примерная схема расположения указанных тел приведена на рисунке.



Класс 11+

Уровень сложности: 2.

Темы: § 2.1. Солнце и планеты., § 5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит)., § 5.2. Малые тела Солнечной системы (приближение круговых орбит)., § 10.1. Законы Кеплера, движение по эллипсу., § 10.2. Небесная механика в Солнечной системе.

Задание № 11-2 (8 баллов).

Астроном Петя изучал явления лунных и солнечных затмений. Он выяснил, что солнечные затмения могут быть: полными, частичными, кольцеобразными. Петя выяснил, на каких планетах можно наблюдать все виды затмений. Предлагаем и вам провести такой анализ, используя справочную информацию, и ответить, на каких планетах можно увидеть все виды солнечных затмений. Все рассуждения привести как доказательство. Можно рассуждения сопроводить рисунками. Используйте понятие «условия наблюдения солнечных затмений».

Возможное решение.

Такое явление наблюдается **только на Земле**. Из-за эллиптичности орбит Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли угловой диаметр Солнца меняется от $31,5^\circ$ до $32,5^\circ$, а диаметр Луны от $29,4^\circ$ до $33,5^\circ$. Если угловой диаметр Луны больше углового диаметра Солнца, то может произойти полное солнечное затмение, если, наоборот, угловой диаметр Солнца превышает диаметр Луны, то может произойти кольцеобразное затмение.

У всех остальных больших планет солнечной системы **или нет спутников** вообще (Меркурий, Венера) **или размеры спутников слишком малы** чтобы получилось полное затмение Солнца. На Марсе, Юпитере, Сатурне, Уране и Нептуне можно фактически наблюдать прохождение спутников по диску Солнца. Они не смогут перекрыть существенную долю солнечного диска, чтобы было можно говорить о затмении.

Класс 11+

Уровень сложности: 1.

Темы. § 2.1. Солнце и планеты., § 10.1. Законы Кеплера, движение по эллипсу., § 10.2.

Небесная механика в Солнечной системе., § 1.3. Луна, ее свойства и движение., § 10.3.

Система Солнце – Земля – Луна.

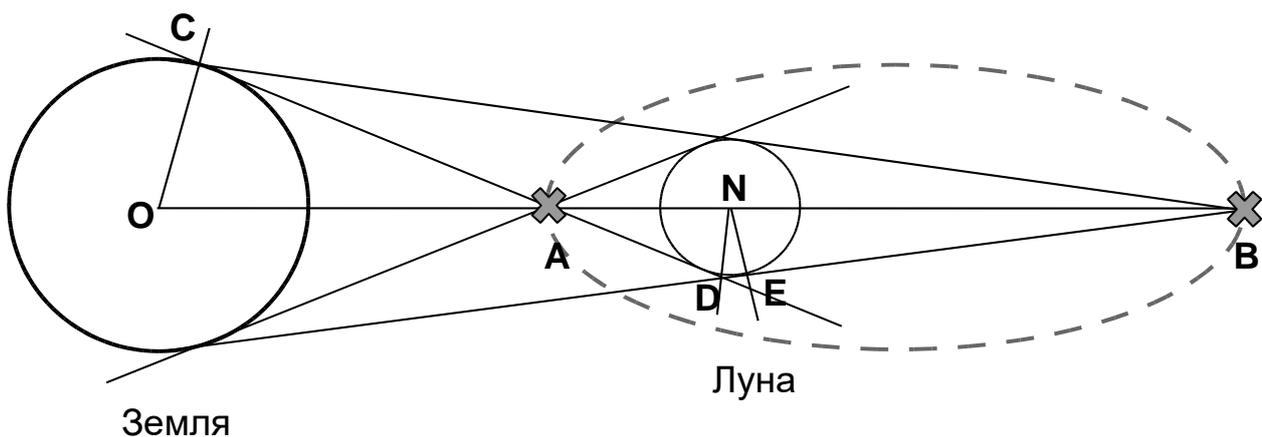
Задание № 11-3 (8 баллов).

Космический аппарат обращается вокруг Луны по такой орбите, на которой размеры Луны и Земли становятся равными в апоцентре и в перицентре. Во сколько раз угловой размер Луны в перицентре больше, чем в апоцентре? Сопроводите решение рисунком.

Возможное решение.

Примечание: без рисунка с обозначениями, использованными в решении, ответ и решение считаются позаимствованными и не принимаются.

Для решения необходимо сделать чертёж и найти точки апо- и перигея, такие, чтобы из этих точек углы, под которыми видно Луну и Землю, были равны.



Поскольку угловой размер обратно пропорционален расстоянию, по сути требуется найти отношение BN к AN . BN найдём из подобия треугольников OBC и NBE :

$$\frac{BO}{BN} = \frac{OC}{EN} = \frac{R_3}{R_L} = \frac{6370 \text{ км}}{1740 \text{ км}} \approx 3,7 \Rightarrow BO = 3,7 BN$$

$$BO = a_L + BN \Rightarrow 3,7 BN = 384\,000 \text{ км} + BN \Rightarrow BN = \frac{384\,000 \text{ км}}{2,7} \approx 142\,222 \text{ км}$$

AN найдём из подобия треугольников AOC и ADN:

$$\frac{AO}{AN} = \frac{OC}{DN} = \frac{R_3}{R_{\text{л}}} = \frac{6370 \text{ км}}{1740 \text{ км}} \approx 3,7$$

$$AO = a_{\text{л}} - AN \Rightarrow 3,7 AN = 384000 \text{ км} - AN \Rightarrow AN = \frac{384000 \text{ км}}{4,7} \approx 81702 \text{ км}$$

Отсюда:

$$\frac{BN}{AN} = \frac{142222 \text{ км}}{81702 \text{ км}} \approx 1,7$$

Окончательный ответ: в 1,7 раз.

Класс.11+

Уровень сложности: 2.

Темы. § 10.1. Законы Кеплера, движение по эллипсу., § 10.2. Небесная механика в Солнечной системе.,

Задание № 11-4 (8 баллов).

В октябре 2023 года астрономы наблюдали очередное возвращение короткопериодической кометы 103P/Хартли, которое происходит каждые 6,48 года. Перигелий был пройден 12 октября (1,06 а.е. от Солнца, 0,4 а.е. от Земли). Это комета из семейства Юпитера, получившая широкую известность благодаря своему сближению с Землёй в 2010 году, когда космический аппарат Deep Impact пролетел мимо неё на рекордно малом расстоянии в 700 км и сделал первые подробные снимки её поверхности. Как далеко комета удаляется от Солнца в афелии своей орбиты?



Возможное решение.

Расстояние в афелии можно определить, вычитая расстояние в перигелии (r_p) из длины большой оси (2a). Длину большой оси определим из III закона Кеплера (период в годах, расстояния в а.е.):

$$\frac{T^2}{a^3} = 1, \Rightarrow a = T^{\frac{2}{3}} = 6,48^{\frac{2}{3}} = 3,48 \text{ а.е.}$$

Расстояние в афелии:

$$r_a = 2 \cdot a - r_p = 2 \cdot 3,48 - 1,06 = 5,89 \text{ а.е.}$$

Ответ: 5,89 а.е.

Класс. 11+

Уровень сложности: 1.

Темы. § 2.1. Солнце и планеты., § 10.1. Законы Кеплера, движение по эллипсу., § 10.2. Небесная механика в Солнечной системе.

Задание № 11-5 (8 баллов).

Согласно современным представлениям, через ~ 1 млрд. лет светимость Солнца увеличится на ~ 10%. Если оставить Землю на текущем расстоянии от Солнца в 1 а.е., то температура на нашей планете сильно возрастет. Чтобы избежать перегрева, земляне "отодвинули" Землю на такое расстояние, на котором средняя температура соответствует современному состоянию (~ 14 °С). Какой будет продолжительность земного года в этом новом положении Земли?

Возможное решение.

Рассмотрим ключевые моменты одного из вариантов решения задачи.

1. Количество энергии на единицу площади или всю планету прямо пропорционально яркости источника L и обратно пропорционально квадрату расстояния $\sim 1/r^2$. Яркость Солнца через 10^9 лет составит $1,1L_C$ от сегодняшней L_C (на 10% больше). Для сохранения теплового режима (средней температуры) Земли надо, чтобы на Землю приходило такое же количество солнечной энергии как и сейчас. Отсюда можем записать:

$$\frac{1,1 \cdot L_C}{r_2^2} = \frac{L_C}{r_1^2}$$

Здесь r_1 и r_2 - расстояние от Земли от Солнца сейчас и в будущем. Решая это уравнение, получим:

$$r_2^2 = 1,1 \cdot r_1^2, r_2 \approx 1,05 r_1.$$

2. Теперь воспользуемся III законом Кеплера, рационально расстояния выразить в а.е., а периоды - в текущих земных годах:

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{r_1^3}, T_2^2 = r_2^3, T_2 = r_2^{3/2} = 1,05^{3/2} \approx 1,07 \text{ года} \approx 1 \text{ год} 27 \text{ сут} \approx 1 \text{ год} 1 \text{ месяц}.$$

Здесь T_1 и T_2 - земной год сейчас ($T_1 = 1$ год) и в будущем, r_1 и r_2 - расстояние от Земли от Солнца сейчас и в будущем, выраженное в а.е. ($r_1 = 1$ а.е.).

Класс 10+

Уровень сложности: 2.

Темы. § 2.1. Солнце и планеты., § 5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит), § 8.1. Энергия излучения., § 8.5. Излучение абсолютно черного тела.

Задание № 11-6 (8 баллов).

Д11-2.

В каких пределах меняется азимут восхода Луны для наблюдателя, находящегося на экваторе Земли? Рефракцией пренебречь.

Возможное решение.

Рассмотрим ключевые моменты решения задачи.

1. Картина вращения небесной сферы на экваторе Земли (широта = 0°) приведена на рисунке. Ось мира "лежит" в горизонте, небесный экватор проходит через точки Востока и Запада, Зенита и Надира.
2. Склонение светил, находящихся на небесном экваторе $\delta = 0^{\circ}$. Без учета влияния рефракции, если склонение светила (Луны) отличается от нуля, точка восхода отклоняется от точки Востока к Северу или к Югу ровно на величину склонения.
3. Склонение Луны меняется точно от $-28^{\circ} 45'$ до $+28^{\circ} 45'$. Границы определяются двумя углами наклона: эклиптики к небесному экватору ($23^{\circ} 26'$) и лунной орбиты к эклиптике (максимум $5^{\circ} 19'$). Для оценочных расчетов можно принять значение $\pm 28,5^{\circ}$ ($23,5^{\circ} + 5^{\circ}$). Значит, точки восхода Луны отклоняются от точки Востока на приблизительно на $\pm 28,5^{\circ}$.
4. Астрономический азимут исчисляется от точки Юга к Западу и далее, для точки Востока он составляет 270° . Окончательно астрономический азимут восхода Луны меняется от $241,5^{\circ}$ до $298,5^{\circ}$. Геодезический азимут отсчитывается от точки Севера к Востоку и далее, для точки Востока он составляет 90° . Окончательно геодезический азимут восхода Луны меняется от $61,5^{\circ}$ до $118,5^{\circ}$.

Примечание.

Если ответ дан в системе исчисления астрономического азимута - особые комментарии и пояснения не нужны. Если ответ дан в системе исчисления геодезического азимута - учащийся должен отметить этот факт. Отсутствию такого комментария может служить основанием для уменьшения конечной оценки в баллах.

Класс 9+

Уровень сложности: 1.

Темы. § 1.2. Земля, ее свойства и движение., § 3.1. Географические координаты., § 3.2.

Горизонтальные координаты на небесной сфере., § 4.3. Экваториальные координаты на небесной сфере.

