1. Планета Gaia-2 b

8 баллов

В системе звезды Gaia-2 была открыта транзитным методом экзопланета Gaia-2 b, ее радиус оказался равен $1.327R_{\text{Юпитера}}$, позже методом лучевых скоростей измерена масса планеты, которая оказалась равной $0.773M_{\text{Юпитера}}$. Период обращения планеты вокруг звезды составляет $T = 3.69$ дня. Определите плотность планеты, и сравните ее численно и качественно с плотностью Земли. К какому классу экзопланет относится эта экзопланета? Ответы обосновать. Объем шара можно посчитать по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

Решение.

Для того чтобы определить плотность воспользуемся ее определением:

$$\rho_{\Pi} = \frac{M_{\text{Планеты}}}{V_{\text{Планеты}}}$$

$$\rho_{\Pi} = \frac{0.773 M_{\text{Юпитера}}}{\frac{4}{3}\pi\left(1.327 R_{\text{Юпитера}}\right)^3} = \frac{0.773 \cdot 1.899 \cdot 10^{27}}{\frac{4}{3}\pi\left(1.327 \cdot 71492 \cdot 10^3\right)^3} = 410\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0.41\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Плотность Земли составляет $\rho_{\oplus} = 5.52\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ плоность планеты меньше в $\frac{\rho_{\oplus}}{\rho_{\Pi}} = \frac{5.52}{0.41} \approx 13.5$ раз. Что легче самого легкого элемента водорода и говорит о том, что планета имеет очень протяженную атмосферу. Период обращения планеты так же говорит о крайней близости к звезде и чрезвычайно высокой температуры атмосферы планеты. Планета относится к классу "Горячий Юпитер".

Ответ. Плотность планеты $\rho_{\text{Планеты}} = 0.41$ г/см3. Планета относится к классу "Горячий Юпитер"

Критерии оценивания. **8**

Записано выражение для плотности в общем виде 1

Выражение для расчета плотности планеты 2

Верный расчет плотности 2

Сравнение со средней плотностью Земли ....

Численное сравнение со средней плотностью Земли 1

Качетсвенное сравнение со средней плотностью Земли 1

Верно указан класс экзопланеты 1

2. Астероид

8 баллов

Определите диаметр астероида, если свет от Солнца идет до него 18.5 минут, а его угловой размер (диаметр) в противостоянии равен $0.45''$ Орбиты астероида и Земли считайте круговыми и лежащими в одной плоскости.

Решение.

На первом этапе определим радиус орбиты астероида. Известно, что его орбита круговая и свет идет от Солнца до астероида 18.5 минут. Тогда радиус орбиты астероида равен расстоянию, которое проходит свет за это время.

$$R = c{\cdot}t = 300000\ \text{км/с}{\cdot}18.5\ \text{мин} = 300000\ \text{км/с}{\cdot}1110\ \text{с} = 333\,000\,000\ \text{км} = 2.22\ \text{а.е}$$

Мы тут специально пересчитали расстояние в астрономические единицы, что проверить, что полученное значение адекватно. На таком расстоянии от Солнца находятся астероиды главного пояса астероидов.

На втором этапе решения определим расстояние между Землей и астероидом в момент противостояния. В момент противостояния Солнца, Земля и астероид находятся на одной линии, при этом Земля находится между этими объектами. Следовательно, расстояние от Земли до астероида:

$$L = R - a_{\oplus} = 2.22\ \text{а.е} - 1.0\ \text{а.е} = 1.22\ \text{а.е} = 183\ 000\ 000\ \text{км}$$

На третьем этапе решения задачи воспользуемся флормулой для углового размера, поскольку угловой размер задан в условии.

$$\rho'' = \frac{206265 \cdot D}{L}$$

Отсюда выразим диаметр астероида D

$$D = \frac{\rho'' \cdot L}{206265} = \frac{0.45'' \cdot 183\ 000\ 000\ \text{км}}{206\ 265} = 399\ \text{км}$$

Ответ. $D = 399$ км.

Критерии оценивания. **8**

Определение радиуса орбиты 3
Определение расстояния до астероида от Земли 2
Определение диаметра астероида 3
Если найдем верно радиус вместо диаметра 1

3. Верхняя кульминация 16 баллов

В Чехове $\varphi = 55°$ с.ш. звезда наблюдалась в момент верхней кульминации на высоте $h = 67°$.

A. Определите склонение этой звезды.

B. Каков ее астрономический азимут в момент нижней кульминации?

C. Является ли эта звезда заходящей в Чехове?

.

Решение. В условии задачи не сказано с какой стороны от зенита наблюдается верхняя кульминация, поэтому необходимо рассматривать два решения – к югу и к северу от зенита.

Рассмотрим сначала **случай кульминации к югу от зенита.** Тогда:

$$\varphi > \delta_1$$

Следовательно:

$$h = 90° - \varphi + \delta_1 \rightarrow \delta_1 = h + \varphi - 90° = 67° + 55° - 90° = 32°$$

Значение склонения положительное, следовательно объект находится в северном полушарии неба. Проверим заходит или нет звезда за горизонт в Чехове для заданной широты. Для этого найдем значение нижней кульминации:

$$h = \varphi - 90° + \delta_1 = 55° - 90° + 32° = -3°$$

Высота нижней кульминации отрицательная, а верхней кульминации положительная (по условию задачи), следовательно звезда заходит за горизонт. Азимут же в нижней кульминации, в нашем случае, составит $180°$, так как нижняя кульминация в северном полушарии происходит со стороны севера.

Теперь рассмотрим **случай верхней кульминации к северу от зенита**.

$$\varphi < \delta_2$$

$$h = 90° + \varphi - \delta_2 \rightarrow \delta_2 = 90° + \varphi - h = 90° + 55° - 67° = 78°$$

Проверим заходит или нет звезда за горизонт в Чехове. Для этого найдем значение нижней кульминации:

$$h = \varphi - 90^\circ + \delta_2 = 55^\circ - 90^\circ + 78^\circ = 43^\circ$$

Обе кульминации имеют один знак, звезда в своем суточном движении не пересекает горизонт и является незаходящей. Азимут же в нижней кульминации составит 180°, как и в предыдущем случае.

Ответ. Случай 1: $\varphi > \delta_1, \delta_1 = 32^\circ$, звезда принадлежит северному небесному полушарию и является заходящей, Случай 2: $\varphi < \delta_2, \delta_2 = 78^\circ$ в обоих случаях нижняя кульминация звезды имеет астрономический азимут 180°.

Критерии оценивания. 16

Случай верхней кульминации к югу от зенита 8

Найдено верно значение склонения 4

Обосновано и верно определено что звезда заходящая 2

Верно определен азимут в нижней кульминации 2

Случай верхней кульминации к северу от зенита 8

Найдено верно значение склонения 4

Обосновано и верно определено что звезда незаходящая 2

Верно определен азимут в нижней кульминации 2

4. Марсианский наблюдатель 16 баллов

В некоторый момент планеты Солнечной системы расположились следующим образом для марсианского наблюдателя: Земля в западной элонгации, Меркурий в нижнем соединении, Сатурн в противостоянии, а Уран в восточной квадратуре. Для данного расположения планет определите следующие расстояния

A. от Земли до Марса

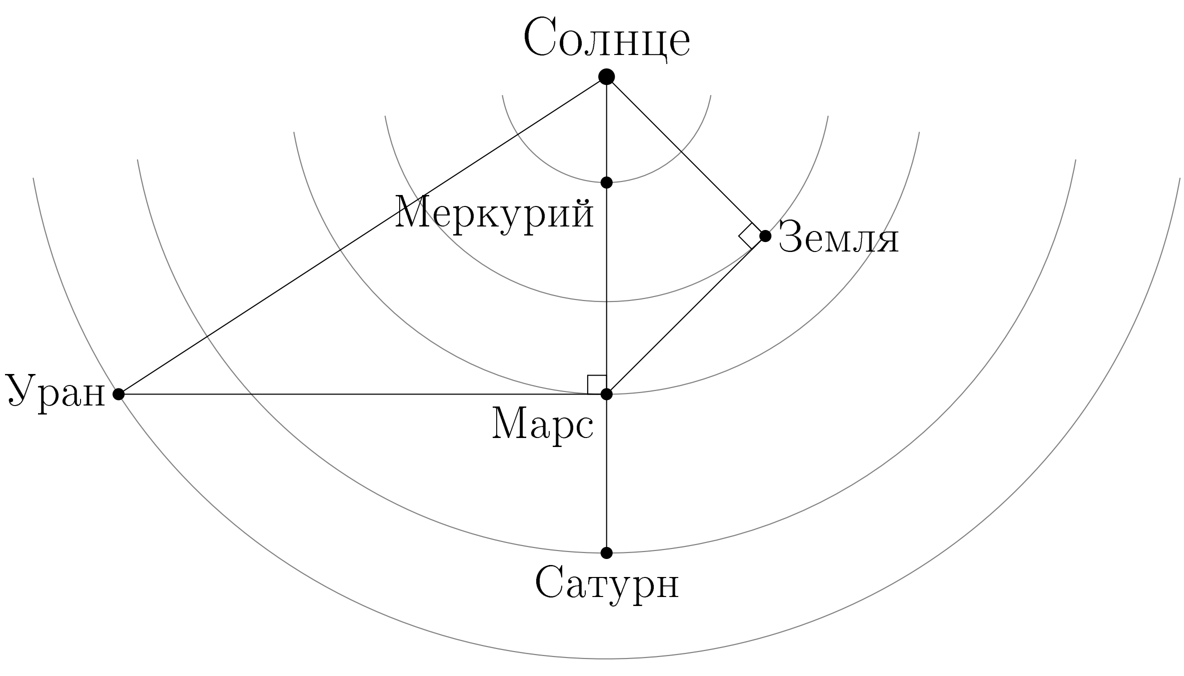
B. От Меркурия до Сатурна.

C. от Марса до Урана

D. От Сатурна до Урана

В прямоугольных треугольниках справедлива теорема Пифагора $c^2 = a^2 + b^2$, где c -гипотенуза (самая длинная сторона прямоугольного треугольника) b, a - катеты прямоугольного треугольника. Обязательно нарисуйте рисунок с взаимным расположением всех планет.

Решение. Сначала нарисуем общую схему, на которой будут изображены орбиты и положение Меркурия, Земли, Марса (где находится наблюдатель), Сатурна и Урана. Всего 5 планет.



Теперь будем искать взаимные расстояния между планетами, которые спрашиваются в решение.

От Земли до Марса. Земля находится в западной элонгации для Марса, или Марс находится в восточной квадратуре для Земли. Здесь мы видим прямоугольный треугольник Солнце-Земля-Марс, в котором нам известна гипотенуза ($a_{♂} = 1.52$ а.е.[1]) и один из катетов ($a_{\oplus} = 1$ а.е.). Второй катет в прямоугольном треугольнике можно найти по теореме Пифагора[2].

$$R_1 = R_{\oplus ♂} = \sqrt{a_{♂}^2 - a_{\oplus}^2} = \sqrt{1.52^2 - 1^2} = 1.14 \text{ а.е.}$$

Расстояние от Меркурия до Сатурна. Наверное, это самый простой пункт этой задачи. Обе планеты лежат на линии Солнце – Марс. Меркурий между Солнцем и Марсом, а Сатурн на продолжении этой линии. Следовательно обе эти планеты лежат на одной линии с Солнцем. А нам известны расстояния от Солнца до всех планет (это справочные данные). Тогда

$$R_2 = a_2 - a_1 = 9.6 \text{ а.е} - 0.38 \text{ а.е} = 9.22 \text{ а.е}$$

Расстояние между Марсом и Ураном. Уран для марсианского наблюдателя находится в восточной квадратуре, следовательно, как в первом пункте мы имеем дело с прямоугольниым треугольником Солнце - Марс - Уран. Известна гипотенуза (радиус орбиты Урана) и один из катетов (радиус орбиты Марса). Тогда

$$R_3 = \sqrt{a_3^2 - a_{♂}^2} = \sqrt{19.2^2 - 1.5^2} = 19.1 \text{ а.е}$$

Расстояние между Сатурном и Ураном. Тут мы тоже можем найти прямоугольный треугольник. Это Марс - Сатурн - Уран. Прямой угол здесь будет при вершине Марс. В предыдущем пункте мы уже определили расстояние между Марсом и Ураном. Второе расстояние в этом треугольнике (Сатурн-Марс) мы можем легко найти, аналогично пункту 2. Сатурн, Марс и Солнце находятся на одной линии. И для случая противостояния Сатурна расстояния между планетами оказывается равным $R_5 = 9.6 - 1.5 = 8.1$ а.е. Тогда снова воспользуемся теоремой Пифагора:

[1] В случае, если участник взял величину полуоси 1.5 а.е., вместо 1.52 - решение засчитывается полностью, если нет арифметических ошибок.

[2] Участники могут сделать это и через тригонометрические функции

$$R_4 = \sqrt{R_3^2 + (9.6 - 1.5)^2} = \sqrt{19.2^2 - 1.5^2 + (9.6 - 1.5)^2} = 20.8 \text{ а.е}$$

Ответ. Расстояния

A. От Земли до Марса $R_1 = 1.14$ а.е.

B. От Меркурия до Сатурна. $R_2 = 9.22$ а.е

C. От Марса до Урана - $R_3 = 19.1$ а.е

D. От Сатурна до Урана - $R_4 = 20.8$ а.е

Критерии оценивания. **16**

Наличие рисунка, на котором изображено расположение планет 4

Найдено расстояние от Земли до Марса 3

Найдено расстояние от Меркурия до Сатурна. 3

Найдено расстояние от Марса до Урана. 3

Найдено расстояние от Сатурна до Урана 3

Арифметические ошибки в расчете снижают оценку каждого пункта на 1 балл. Ошибка в формуле или в месте положения объекта обнуляет данный пункт полностью. Правильное решение этой задачи в случае наблюдателя на Земле оценивается в 0+0+1+1+1 балл

5. Солнце – τ Кита 16 баллов

Два звездолета одновременно отправились навстречу друг другу из солнечной системы и системы τ Кита, расположенной в 12 световых годах. Из Солнечной системы звездолет вылетел со скоростью $\frac{3}{4}$ скорости света с грузом техники и аппаратуры. Навстречу ему из системы τ Кита со скоростью $\frac{1}{3}$ скорости света вылетел звездолет груженый полезными ископаемыми. При встрече они отправили сигналы в точки отправления. Определите

- Сколько времени летели звездолеты до момента встречи?
- Через какое время после старта кораблей будет получен сигнал о встрече в Солнечной системе и системе τ Кита?
- Какова будет разница во времени между прилетом звездолета в Солнечной системе и системе τ Кита, и получением сигнала о встрече звездолетов?

Релятивисткими эффектами пренебречь.

Решение.

Будем решать задачу не в системе СИ. Расстояние будем измерять световыми годами, время – земными годами, скорость – в долях от скорости света. Определим время необходимое для встречи звездолетов, если весь путь, который они должны пройти $L = 12$ световых лет:

$$L = V_1 t + V_2 t = (V_1 + V_2)\, t = c \cdot 12 \to t = \frac{12c}{\frac{3c}{4} + \frac{c}{3}} = \frac{12 \cdot 12}{9 + 4} = 11.08 \text{ года}$$

Найдем на каком расстоянии в световых года от Солнца произошла встреча звездолетов:

$$V_1 t = \frac{3}{4} c \cdot 11.08 = 8.31 \text{ св. года}$$

Следовательно сигналу, который двигается со скоростью света, потребовалось, чтобы дойти до Солнца от точки встречи - $t_{s1} = 8.31$ года. Вычислим полное время с момента запуска корабля до получения сигнала:

$$t_{\odot} = t + t_{s1} = 11.08 + 8.31 = 19.39 \text{ года}$$

Расстояние от τ Кита до места встречи составило:

$$V_2 t = \frac{1}{3}c \cdot 11.08 = 3.69 \text{ св. года}$$

Следовательно сигналу, который двигается со скоростью света, потребовалось, чтобы дойти до τ Кита от точки встречи - $t_{s2} = 3.69$ года. Полное время с момента запуска корабля до получения сигнала составило:

$$t_{\odot} = t + t_{s1} = 11.08 + 3.69 = 14.77 \text{ года}$$

Чтобы ответить на последний вопрос задачи, нужно посчитать полное время полета звездолетов от одной системы до другой. Полное время полета корабля из Солнечной системы в систему τ Кита составит:

$$t_{k1} = \frac{ct}{\frac{3c}{4}} = \frac{12}{\frac{3}{4}} = 16 \text{ лет}$$

А разница между приходом сигнала о встречи кораблей и корабля из Солнечной системы составит:

$$\tau_{\tau \text{Кита}} = t_{k1} - t_{\odot} = 16 - 14.77 = 1.33 \text{ года}$$

Сигнал обгонит прилетающий корабль из Солнечной системы в системе τ Кита на: 1.33 года

$$\tau_{\tau \text{Кита}} = 1.33 \text{ года}$$

Время полета звездолета из системы τКита до солнечной системы составляет:

$$t_{k2} = \frac{ct}{\frac{c}{3}} = \frac{12}{\frac{1}{3}} = 36 \text{ лет}$$

А разница между приходом сигнала о встречи кораблей и корабля с τ Кита в Солнечной системы составит:

$$\tau_{\tau \text{Кита}} = t_{k2} - t_{\odot} = 36 - 19.39 = 16.61 \text{ года}$$

Сигнал обгонит прилетающий корабль из τ Кита в Солнечную систему на: 16.61 года

Ответ. До момента встречи звездолеты летели $t = 11.08$ года, сигналы о встрече будут получены в Солнечной системе $t_{s1} = 8.31$ года, в системе τ Кита $t_{s2} = 3.69$ года, разница между временем прилета корабля с τ Кита и получением сигнала о встрече $\tau_{\tau\text{Кита}} = t_{k2} - t_{\odot} = 36 - 19.39 = 16.61$ года, разница между временем прилета корабля из Солнечной системы и получением сигнала о встрече $\tau_{\tau\text{Кита}} = t_{k1} - t_{\odot} = 16 - 14.77 = 1.33$ года

Критерии оценивания. **16**

Найдено время до встречи 2

Найдено время от старта до получения сигнала о встрече в Солнечной системе 3

Найдено время от старта до получения сигнала о встрече в системе τ Кита .. 3

Найдена разница между прилетом с τ Кита и сигнале о встрече 4

Найдена разница между прилетом из Солнечной системы и сигнале о встрече 4

6. LISA

16 баллов

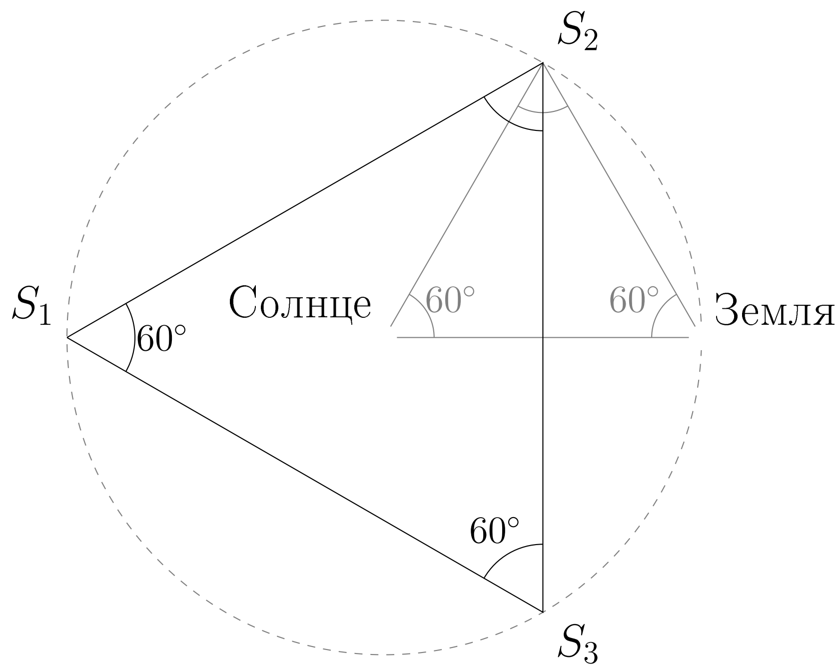
Спутники проекта LISA (3 штуки) планируют запустить на орбиту Земли вокруг Солнца таким образом, чтобы они всегда составляли равносторонний треугольник. При этом один из спутников будет всегда противоположен Земле, то есть окажется по другую сторону от Солнца.

A. Нарисуйте схему взаимного расположения спутников, Солнца и Земли.

B. Определите, какое время идет электромагнитный сигнал между спутниками и от каждого спутника до Земли?

В прямоугольных треугольниках справедлива теорема Пифагора $c^2 = a^2 + b^2$, где c -гипотенуза (самая длинная сторона прямоугольного треугольника) b, a - катеты прямоугольного треугольника. Считайте, что все объекты двигаются в одной плоскости по круговым орбитам.

Решение. Схема положения спутников выглядит следующим образом:



Рассмотрим на рисунке получившиеся треугольники $S_1S_2S_3$ и треугольник S_2СЗ. Отрезки S_1S_2 и СЗ перпендикулярны друг другу. Расстояние от Земли до Солнца $a_\oplus = 1.5 \cdot 10^8$ км. Свет проходит это расстояние за:

$$t_0 = \frac{a_\oplus}{c} = \frac{1.5 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^5} = 500 \text{ сек}$$

следовательно, расстояния до спутников исходя из рисунка до Земли составят:

A. $S_1 - \text{З} = 2\text{С} - \text{З} = 2$ а.е. следовательно сигнал будет идти до Земли $t_1 = 1000$ сек $= 16$ мин40 сек

B. $S_2 - \text{З} = S_3 - \text{З} = \text{С} - \text{З} = 1$ а.е. следовательно сигнал будет идти до Земли $t_2 = t_3 = 500$ сек $= 8$ мин20 сек

Теперь найдем время прохождения сигнала между спутниками. Поскольку треугольник $S_1S_2S_3$ равносторонний, то расстояние $S_2\text{С}$, есть гипотенуза прямоугольного треугольника $S_2\text{СЗ}$, второй катет которого есть половина расстояния $\text{С} - \text{З}$. Следовательно:

$$S_1S_2 = 2\sqrt{a^2 - \frac{a^2}{4}} = \sqrt{3}a = \sqrt{3} \cdot \text{СЗ} = \sqrt{3} = 1.73 \text{ а.е.}$$

Найдем время прохождения сигнала:

$$\tau = S_1S_2 \cdot 500 = 866 \text{ сек}$$

Ответ. Время прохождение сигнала до Земли: для спутника S_1 составит $t_1 = 1000$ сек $= 16$ мин40 сек, для спутников S_1 и S_2 составит $t_2 = t_3 = 500$ сек $= 8$ мин20 сек, время прохождение сигнала между спутниками $\tau = 866$ сек

Критерии оценивания. 16

Построение правильного рисунка положения спутников 4
Нахождение расстояний от Земли до спутника S_1 за Солнцем 2
Нахождение времени для S_1 за Солнцем 1
Нахождение расстояний от Земли до спутника S_2 . . . . .
опережающего на орбите Земли 2
Нахождение времени для S_2 опережающего на орбите Земли 1
Нахождение расстояний от Земли до спутника S_3 . . . . .
отстающего на орбите Земли 2
Нахождение времени для S_3 отстающего на орбите Земли 1
Нахождение расстояний между спутниками 2
Нахождение времени прохождения сигнала между спутниками 1

7. Внутренняя и внешняя планеты 20 баллов

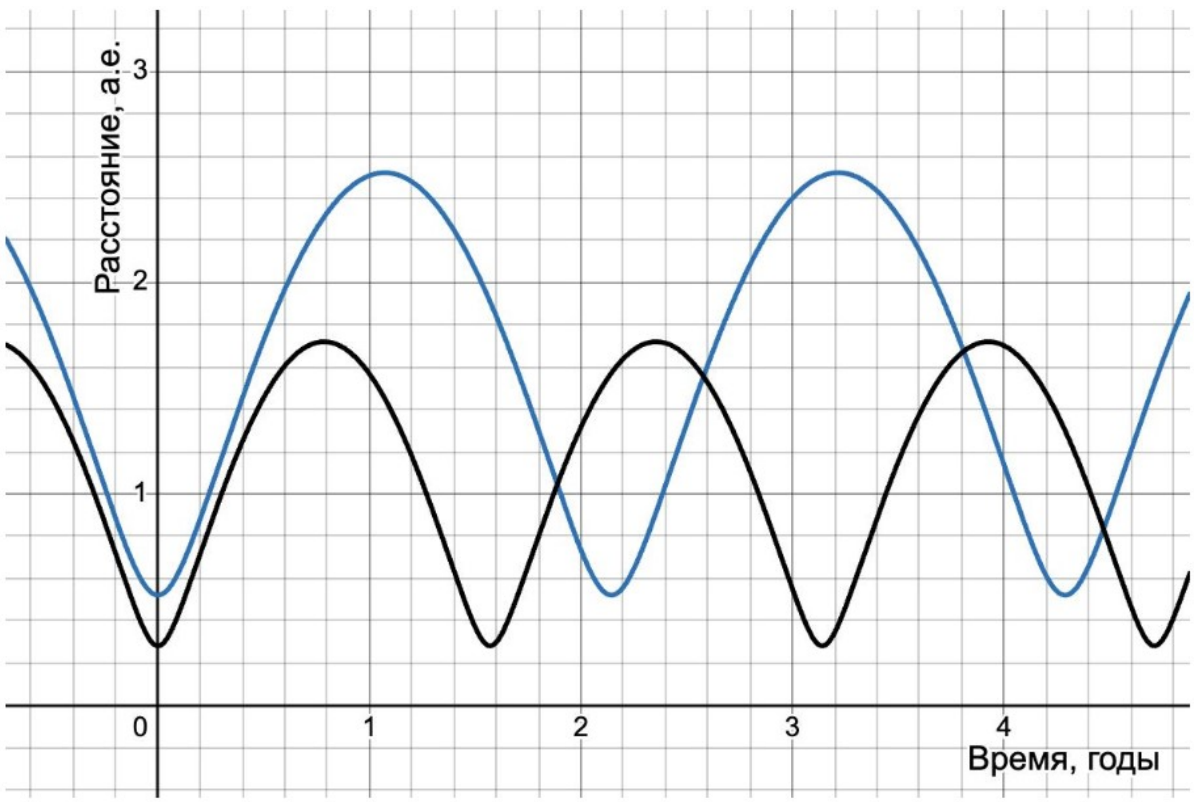
Астрономы провели измерения расстояния между двумя планетами и Землей. Для внутренней и внешней планеты по отдельности были построены графики зависимости расстояния от Земли до планеты от времени.

A. Найдите минимальное и максимальное расстояние от Земли для каждого тела. Сделайте это двумя независимыми способами.

B. Определите, что это за тела Солнечной системы.

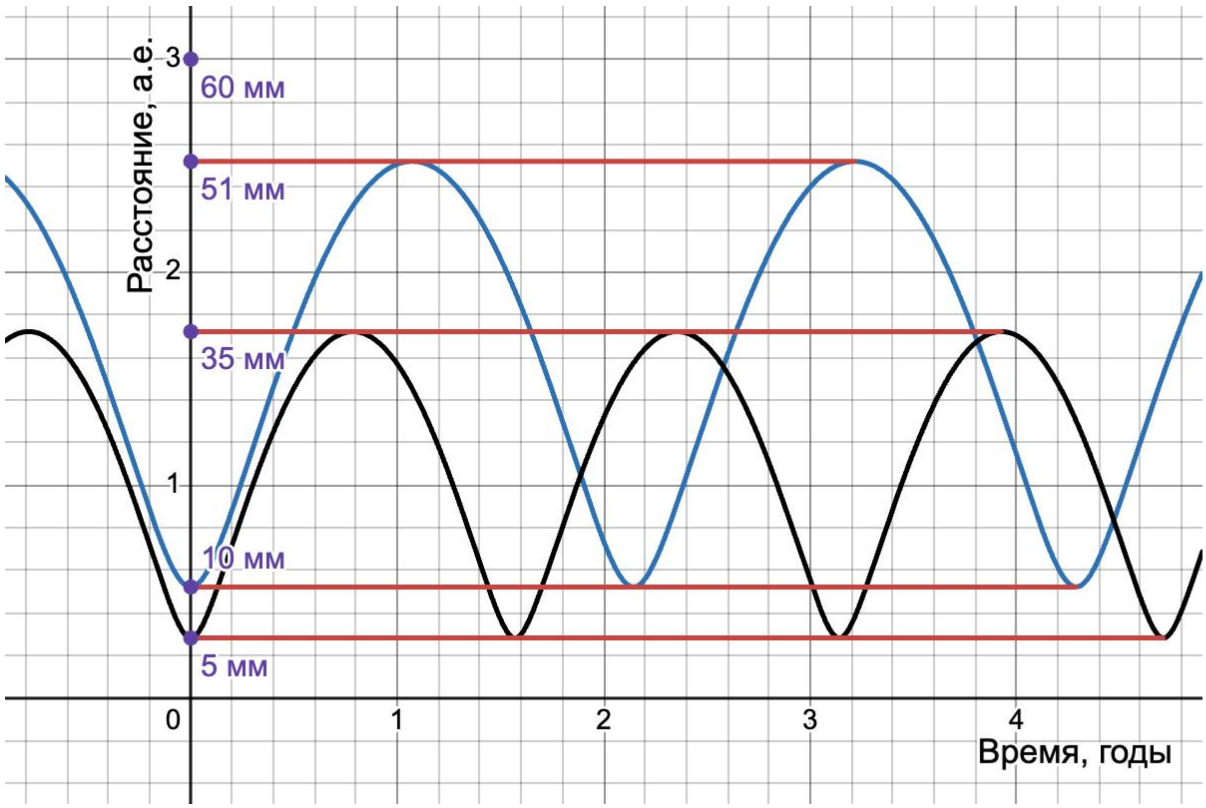
Орбиты всех тел круговые и находятся в одной плоскости. Измерения и построения проводите на бланке для решений с картой или графиком, и сдайте его вместе с работой.

Рис. 1: График расстояний между планетами и Землей



Решение. На графике представлено расстояние от планеты до Земли. Снимем расстояния и определим их в моменты наибольшего и наименьшего значений. Для этого проведем через все максимумы и минимумы отрезки до ос расстояний. и измерим масштаб, и расстояния на графике. Масштаб A удобнее всего определить из самого дальнего маркированного расстояния по оси от начала координат.

Рис. 2: Снятие точек с графика



Точность будет наиболее высокой.

$$A = \frac{60}{3} = 20\ \frac{\text{мм}}{\text{а.е.}}$$

Определим значения минимальных и максимальных расстояний

Расстояние	Меньший график	Больший график
Макс. расстояние в мм	35 мм	51 мм
Макс. расстояние в а.е	$\frac{35}{20} = 1.75$ а.е	$\frac{10}{20} = 2.55$ а.е
Мин. расстояние в мм	5 мм	10 мм
Мин. расстояние в а.е	$\frac{5}{20} = 0.25$ а.е	$\frac{10}{20} = 0.5$ а.е

На графике представлено расстояние от планеты до Земли. Здесь есть значения расстояний и есть время. Следовательно можно найти напрямую расстояния - **первый способ**, либо найти период и после, через третий закон Кеплера расстояние от Солнца. Это будет **второй способ.**. Первый способ - через измерения расстояний на графике. Снимем расстояния и определим их в моменты наибольшего и наименьшего значений. Для большего графика они составят:

$$\Delta_{1min} = 0.52 \text{ а.е.}$$
$$\Delta_{1max} = 2.52 \text{ а.е.}$$

Так как максимальное расстояние больше 2 а.е. следовательно планета внешняя. Причем ее вращение прямое, так как вид графиков повторяется с периодом более года.

$$\Delta_{1min} = a_{\text{Планеты}} - a_{\oplus} = 0.52 \text{ а.е.}$$
$$\Delta_{1max} = a_{\text{Планеты}} + a_{\oplus} = 2.52 \text{ а.е..}$$

$$a_{\text{Планеты}} = \frac{\Delta_{1max} + \Delta_{1min}}{2} = \frac{2.52 + 0.52}{2} = 1.52 \text{ а.е.}$$

Значит радиус орбиты планеты составил $a_{\text{Планеты}} = 1.52$ а.е. - эта планета Марс.

Для меньшего графика они составят:

$$\Delta_{2min} = 0.28 \text{ а.е..}$$
$$\Delta_{2max} = 1.72 \text{ а.е.}$$

Так как максимальное расстояние меньше 2 а.е. следовательно планета внутренняя. Причем ее вращение прямое, так как вид графиков повторяется с периодом более года.

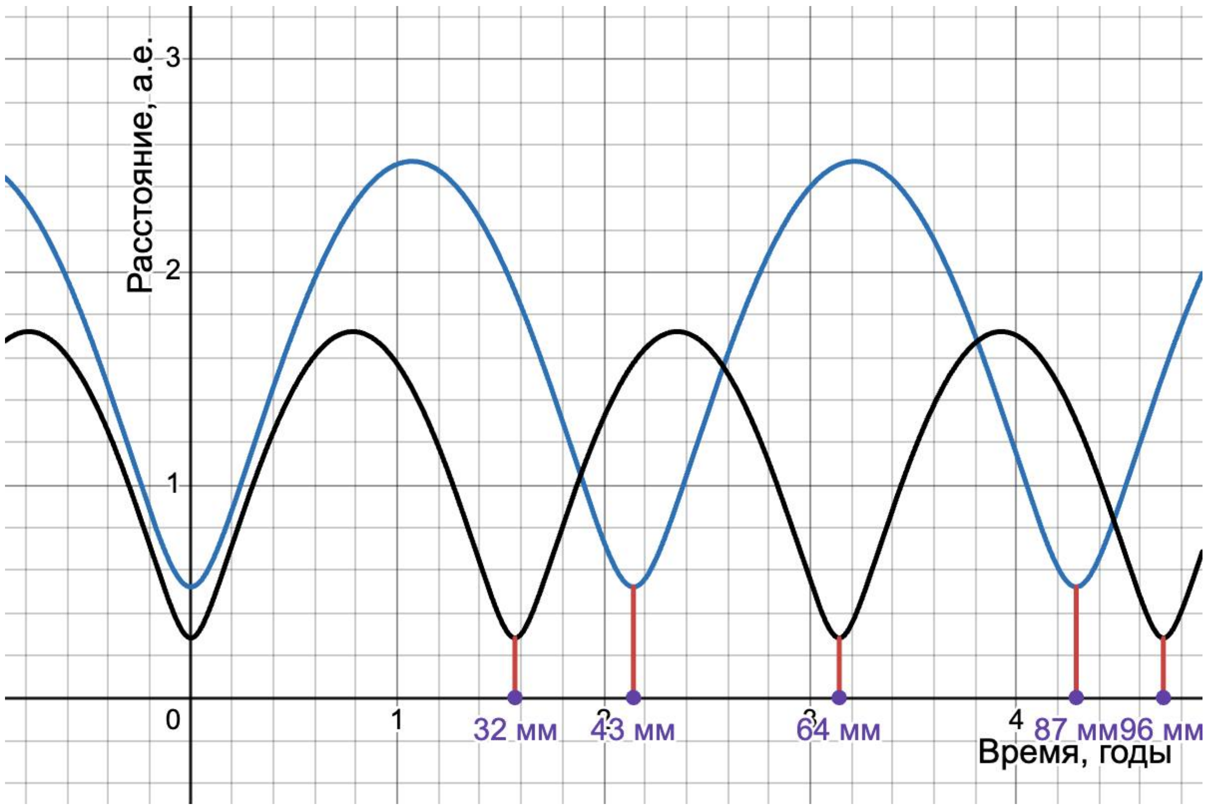
$$\Delta_{2min} = a_{\oplus} - a_{\text{Планеты}} = 0.28 \text{ а.е.}$$
$$\Delta_{2max} = a_{\text{Планеты}} + a_{\oplus} = 1.72 \text{ а.е..}$$

$$a_{\text{Планеты}} = \frac{\Delta_{2max} - \Delta_{2min}}{2} = \frac{1.72 - 0.28}{2} \approx 0.72 \text{ а.е.}$$

Значит радиус орбиты планеты составил $a_{\text{Планеты}} = 0.72$ а.е. - это планета Венера.

Определим расстояние **вторым способом** - через периоды. Проведем измерения положений минимумов на графиках. Чтобы это посчитать необходимо опустить перпендикуляры от минимумов расстояний на ось времени. Затем измерить сколько мм будет занимать 1 год и точки до которых опущены перпендикуляры. В нашем случае 1 год составил ровно 20 мм:

Рис. 3: график расстояний между планетами и Землей



	Внутренняя планета	Внешняя планета
1	32 мм	43 мм
2	64 мм	87 мм
3	96 мм	—-
Средний период	32 мм	43.5

Масштаб B по оси времени удобнее всего определить из самого дальнего маркированного расстояния по оси от начала координат.

$$B = \frac{80}{4} = 20\ \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

Для первой планеты, с меньшими колебаниями расстояний. Они меньше диаметра Земной орбиты, следовательно, планета внутренняя. Период составит:

$$S_1 = \frac{32}{20} = 1.6 \text{ года}$$

Для первой планеты, с наибольшими колебаниями колебаниями расстояний. Они больше диаметра Земной орбиты, следовательно, планета внутренняя. Период составит::

$$S_2 = \frac{43.5}{20} = 2.17 \text{ года}$$

Теперь же найдем истинный период обращения, так как взаимные расстояния изменяются с синодическим периодом. Найдем сидерические периоды обращения:

$$\frac{1}{S_1} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_\oplus} \rightarrow T_1 = \frac{S_1 T_\oplus}{T_\oplus + S_1} = \frac{1.6 \cdot 1}{1 + 1.6} = 0.62 \text{ года}$$

Вторая планета:

$$\frac{1}{S_2} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{S_2 T_\oplus}{S_2 - T_\oplus} = \frac{2.17 \cdot 1}{2.17 - 1} = 1.85 \text{ года}$$

Заглянув в справочные данные, мы найдем, что это планета Марс. Теперь чтобы найти минимальные расстояние найдем через третий закон Кеплера большие полуоси орбит:

$$a_1 = a_\oplus \left(\frac{T_1}{T_\oplus}\right)^{\frac{2}{3}} \rightarrow a_1 = 1 \cdot \left(\frac{0.62}{1}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.73 \text{ а.е.}$$

Заглянув в справочные данные, мы найдем, что это планета Венера.

$$a_2 = a_\oplus \left(\frac{T_2}{T_\oplus}\right)^{\frac{2}{3}} \rightarrow a_2 = 1 \cdot \left(\frac{1.85}{1}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.51 \text{ а.е.}$$

Найдем минимальные и максимальные расстояния:

$$\Delta_{1min} = a_\oplus - a_1 = 1 - 0.73 = 0.27 \text{ а.е.}$$

$$\Delta_{1max} = a_1 + a_\oplus = 1 + 0.73 = 1.73 \text{ а.е..}$$

$$\Delta_{2min} = a_2 - a_\oplus = 1.51 - 1 = 0.51 \text{ а.е.}$$

$$\Delta_{2max} = a_2 + a_\oplus = 1.51 + 1 = 2.51 \text{ а.е..}$$

Ответ. А. Внутренняя планет $\Delta_{2min} = 0.28$ а.е.., $\Delta_{2max} = 1.72$ а.е. и внешняя - $\Delta_{1min} = 0.52$ а.е.., $\Delta_{1max} = 2.52$ а.е. В. Внутренняя планета - Венера, внешняя - Марс.

Критерии оценивания. **20**

Анализ графика по оси расстояний 10

Правильно указаны внешняя и внутренние планеты 2

Сняты точки, найдены расстояния в а.е. 2

Найдены радиусы орбит и минимальные и максимальные расстояния 2

Сделан и обоснован вывод, ...

это внутренняя планета имеет прямое вращение 2

Определены большие полуоси планет 2

Анализ графика по оси времени 8

Сняты точки, найдены периоды 2

Правильно указаны внешняя и внутренние планеты 2

Синодический периоды переведены в сидерические 2

Найдены радиусы орбит и минимальные и максимальные расстояния 2

Правильно определены планеты 2