

9 класс

1. Условие. Один любознательный астроном обнаружил, что периоды обращения вокруг Солнца у двух достаточно больших объектов Солнечной системы относятся как 3:2. Один из этих объектов — планета Нептун. Определите второй объект.

1. Решение. Перейдём от периодов обращения к радиусам орбит. Из третьего закона Кеплера

$$T_1^2 / T_2^2 = R_1^3 / R_2^3$$

$$\text{Вычислим } R_1 / R_2 = (1.5)^{2/3} = 1.31.$$

Радиус орбиты Нептуна примерно равен 30 а.е., соответственно, радиус орбиты искомого тела должен быть либо $30 \text{ а.е.} \cdot 1,31 = 39,5 \text{ а.е.}$, либо $30 \text{ а.е.} / 1,31 = 22,9 \text{ а.е.}$

Ближайшие соседи Нептуна, обладающие приличными размерами — это планета Уран ($R = 19 \text{ а.е.}$, не подходит) и карликовая планета Плутон ($R = 39,5 \text{ а.е.}$). Именно он нам и нужен.

1. Критерии оценивания.

4 балла — третий закон Кеплера (верная формула — 2 балла) и вычисление отношения радиусов орбит (2 балла)

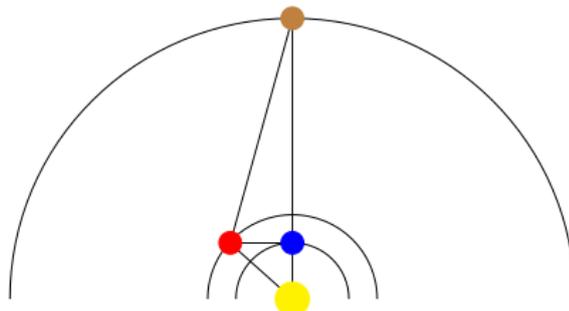
2 балла — вычисление двух вариантов радиуса орбиты искомого тела (если приведён только один вариант, баллы не ставятся)

2 балла — анализ вариантов, выбор итогового ответа (Плутон)

2. Условие. Около одной из звезд обнаружена система из трех обитаемых экзопланет. Планеты находятся от звезды на расстоянии 2 а.е., 3 а.е. и 10 а.е. соответственно. В момент, когда обитатель первой планеты видел вторую в западной квадратуре, а третью — в противостоянии, с первой планеты было

отправлено радиосообщение на вторую и третью планеты. Кто из адресатов получит сообщение раньше и насколько? Нарисуйте схему расположения планет в системе.

2. Решение. Схема расположения планет:



В предлагаемой ситуации расстояние между первой (синей) и второй (красной) планетами составляет по теореме Пифагора

$$L_{1-2} = \sqrt{3^2 - 2^2} = \sqrt{5} \approx 2,23 \text{ а. е.}$$

а расстояние между первой (синей) и третьей (коричневой) планетами

$$L_{1-3} = 10 - 2 = 8 \text{ а. е.}$$

Радиоволны распространяются со скоростью света и преодолевают расстояние 1 а.е. за 8 минут и 20 секунд (500 с). Значит, на второй планете сигнал получают через 1115 секунд, а на третьей планете – через 4000 секунд. Таким образом разница во времени прихода сообщения составит 2885 с или 48 минут 5 секунд.

2. Критерии оценивания.

2 балла — верная схема конфигурации планет;

2 балла — определение расстояния между первой и второй планетами;

1 балл — определение расстояния между первой и третьей планетами;

2 балл — связь времени распространения сигнала со скоростью света, вычисление времён распространения сигналов

1 балл — итоговый ответ

3. Условие. Во время вспышки на Солнце в сторону Земли был направлен солнечный ветер — поток быстрых заряженных частиц. Его скорость составляла 1200 км/с, а концентрация частиц — 6 протонов на 1 см^3 . С какой общей силой солнечный ветер действует на земную Луну?

3. Решение. По II закону Ньютона $F = ma = \frac{\Delta(vm)}{\Delta t}$

Будем считать, что протоны не изменяют массы Луны, но передают ей импульс. За единицу времени на единицу площади сечения лунного диска падает $n\nu$ частиц, принося импульс $m\nu n\nu$.

Тогда действующая сила равна: $F = \pi R^2 n m_p \nu^2 = 13,7 \cdot 10^4 \text{ Н}$.

3. Критерии оценивания

2 балла — второй закон Ньютона — связь силы и переданного импульса

2 балла — связь концентрации, скорости и количества частиц, падающих на Луну за единицу времени

2 балла — расчёт импульса, переданного частицами за единицу времени

2 балла — итоговый ответ

4. Условие. Можно ли разглядеть невооружённым глазом Море Влажности на Луне, если его диаметр 400 км? Ответ поясните.

4. Решение. При диаметре 3476 км Луна видна на земном небосводе под углом $31'$. Значит, по пропорции, Море Влажности будет видно под углом $31' \times 400/3476 = 3,56'$.

Тот же ответ можно получить прямыми вычислениями, разделив диаметр Моря Влажности на среднее расстояние между Землёй и Луной (384400 км) и переведя ответ в угловые минуты или секунды.

Угловое разрешение невооружённого глаза при идеальных условиях составляет примерно 1'. Значит, угловой размер Моря Влажности более чем в 3 раз превышает предел углового разрешения глаза. То есть море вполне можно разглядеть.

4. Критерии оценивания.

2 балл — формула для углового размера или пропорция между угловыми размерами Моря Влажности и Луны

2 балла — численное вычисление углового размера Моря Влажности (в угловых минутах или секундах)

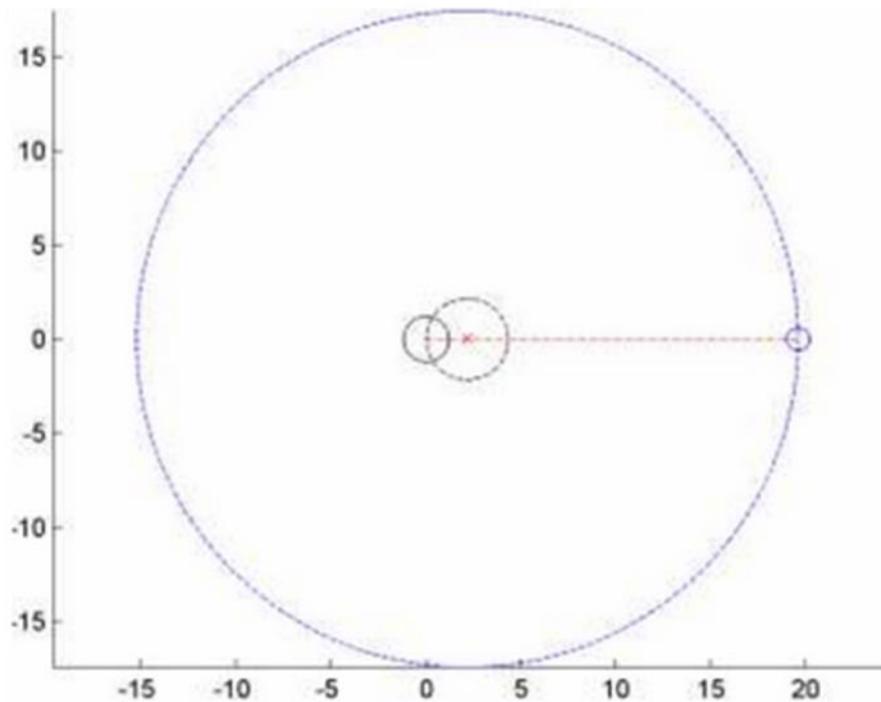
2 балл — угловое разрешение человеческого глаза 1' или 2' (оценивается одинаково)

2 балл — итоговый вывод (удастся разглядеть)

5. Условие: В Солнечной системе, кроме двойной системы Земля — Луна, есть двойная система Плутон — Харон. Харон — довольно крупный спутник для своего родительского тела. Пользуясь справочными данными, изобразите эту двойную систему в масштабе с орбитами.

5. Решение: Параметры системы приведены в справочных данных. Центр масс двойной системы делит расстояние между телами примерно в пропорции 1:8, значит, центр масс находится на расстоянии $19\,591,4 \text{ км} / 8 = 2,45 \text{ тыс. км}$. от центра Плутона. Радиус Плутона же примерно равен 1,2 тыс км, значит, центр масс системы находится от центра Плутона примерно на расстоянии двух его радиусов (вне планеты).

Тогда получим такую схему:

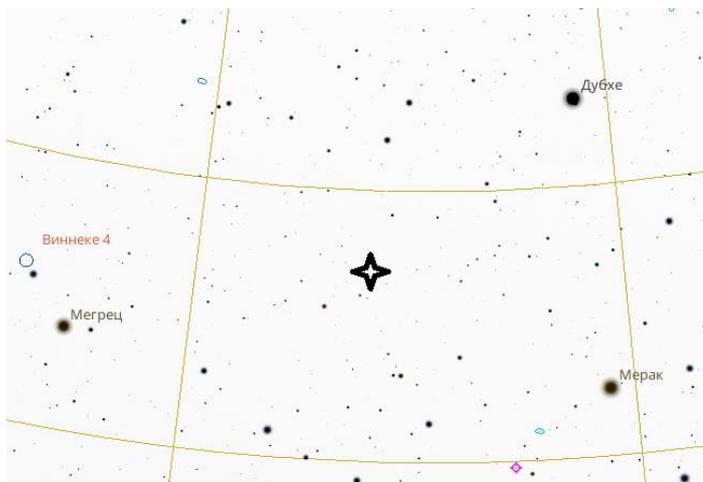


5. Критерии оценивания: 2 балла – за верные рассуждения о том, что центр масс находится за пределами Плутона.

6 баллов – за построение схемы (2 балла – за изображение Плутона и Харона на верном расстоянии, 2 балла – за изображение центра масс, 2 балла – за орбиту Харона). Совсем идеального соблюдения масштаба требовать не надо, главное, чтобы барицентр был вне Плутона и соотношения радиуса Плутона и двух расстояний до центра масс были близки к 1:2:16. То, что на графике Плутон и Харон находятся на противоположных сторонах своих орбит – важно (–2 балла за несоблюдение этого условия), т.к. неподвижный центр масс должен находиться между ними.

6. Условие. Наблюдая ночное небо, вы внезапно заметили вспышку явно неземного происхождения и отметили на обрывке звездной карты её местоположение относительно ярких звезд (ваша отметка — это фигура в центре рисунка). Определите с хорошей точностью координаты источника

вспышки — склонение и прямое восхождение. В каком созвездии произошла вспышка?



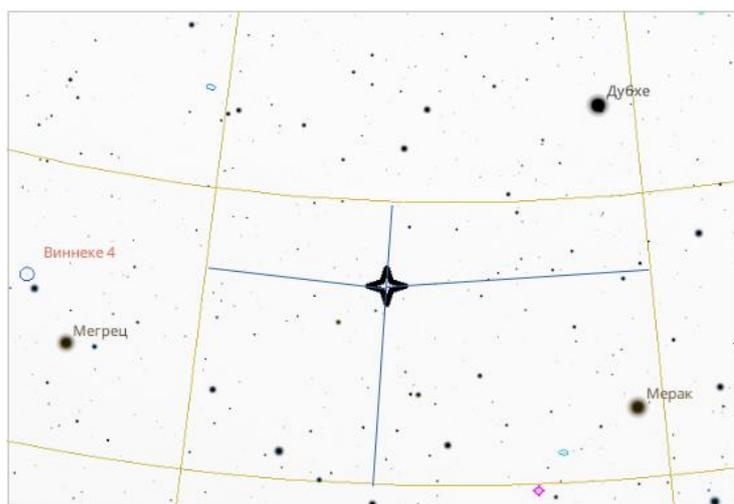
Координаты ярких звёзд на карте:

- Дубхе — $\delta = +61^{\circ} 45' 03''$, $\alpha = 11\text{ч } 03\text{м } 44\text{с}$
- Мерак — $\delta = +56^{\circ} 22' 57''$, $\alpha = 11\text{ч } 04\text{м } 51\text{с}$
- Мегрец — $\delta = +57^{\circ} 01' 57''$, $\alpha = 12\text{ч } 15\text{м } 26\text{с}$

6. Решение

Дубхе, Мегрец и Мерак — три ярких звёзды ковша Большой Медведицы. То есть дело происходит в северном полушарии, и по линиям на фрагменте звёздной карты понятно, что горизонтальные дуги — это линии постоянного склонения, а вертикальные прямые — это линии постоянного прямого восхождения. Заметим также, что прямое восхождение звезды больше, чем у Дубхе и Мерака. Это означает, что прямое восхождение растёт справа налево, не так, как обычная горизонтальная ось координат.

По координатам звёзд легко понять, что правая вертикальная линия соответствует прямому восхождению 11ч, а левая — прямому восхождению 12ч. Аналогично понимаем, что верхняя дуга — это линия склонения $+60^{\circ}$, а нижняя — $+50^{\circ}$.



Проведём четыре перпендикуляра к линиям из точки вспышки. Длины этих отрезков с хорошей точностью равны длинам соответствующих дуг, то есть по отношению длин отрезков можно определить координаты вспышки по склонению и прямому восхождению.

Отношение длин горизонтальных отрезков равно $7 / 10$, вертикальных — $4 / 15$. Это означает, что склонение точки вспышки равно $50^\circ + 15 / (4+15) \cdot 10^\circ = 57,9^\circ$. Аналогично, прямое восхождение (отсчитывается справа налево!) равно $11ч + 10 / (10+7) \cdot 1ч = 11,59 ч = 11ч 35м$.

Участники имеют право пользоваться другими методами геометрического определения координат, дающими сравнимую точность ($\pm 1^\circ$ по склонению, $\pm 5м$ по прямому восхождению).

Критерии оценивания

2 балла — созвездие Большой Медведицы

2 балла — привязка линий на карте к «круглым» значениям склонения и прямого восхождения; если линии прямого восхождения перепутаны, 1 балл

2 балла — вычисление относительной позиции точки вспышки по склонению и прямому восхождению через отношение длин отрезков, либо другим аналогичным способом

2 балла — вычисление точных координат — 1 б за склонение, 1 б за прямое восхождение.