

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
(2020 / 2021 учебный год)
7-8 классы**

ЗАДАНИЯ

1. Какое астрономическое название из этого списка является лишним и почему?
а. Аррокот, Каллисто, Оберон, Синопе, Титан, Фобос, Энцелад.
б. Меркурий, Венера, Земля, Марс, Нептун,.
2. Какое среднее расстояние пролетает планета Венера за месяц (30 суток)?
3. Может ли Юпитер находиться ближе к Земле, чем Марс, а Марс – ближе, чем Венера? Поясните ответ.
4. Расположить в правильной последовательности даты в течение календарного года, начиная от его начала: Новый год по юлианскому календарю, Новый год по григорианскому календарю, весеннее равноденствие, зимнее солнцестояние, дата нахождения Земли в перигелии своей орбиты.
5. Некая звезда восходит строго на востоке, а заходит строго на западе. В верхней кульминации она поднимается на высоту 38° . Какое склонение имеет звезда? Определите географическую широту местности. Ответ подробно обоснуйте.
6. В 1054 году на небе наблюдался взрыв Сверхновой, породивший Крабовидную туманность. Расстояние до Крабовидной туманности – примерно два килопарсека ($R = 2 \text{ кпк} = 6520 \text{ световых лет}$). Сколько лет тому назад взорвалась Сверхновая?

Справочные данные:

Большая полуось орбиты Венеры	$a_v = 0,72 \text{ а.е.}$
Большая полуось орбиты Марса	$a_m = 1,52 \text{ а.е.}$
Большая полуось орбиты Юпитера	$a_{ю} = 5,2 \text{ а.е.}$
Год Венеры	$T = 224,7 \text{ земных суток}$

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
(2020 / 2021 учебный год)
7-8 классы**

Рекомендуется оценивать решение по 8-бальной системе (от 0 до 8).

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

1. а. Аррокот – объект из пояса Койпера, движущийся вокруг Солнца, остальные объекты – спутники планет Солнечной системы. Название Аррокот – лишнее в списке. Правильный ответ - 2 балла, правильное объяснение - 2 балла. б. Лишним является Нептун, т. к. все остальные объекты – планеты земной группы, а Нептун – планета-гигант. Правильный ответ - 2 балла, правильное объяснение - 2 балла

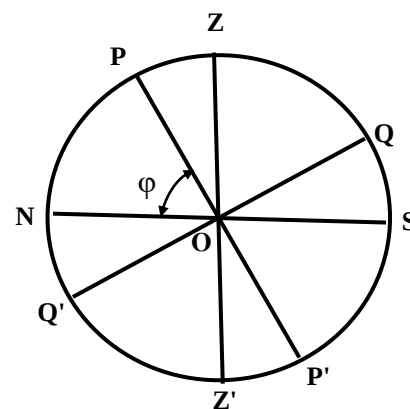
2. Полная длина орбиты Венеры $L = 2\pi R$, где радиус орбиты $R = 0,72 \text{ а.е.} = 150 \text{ млн км} \times 0,72 = 109,4 \text{ млн км}$. Тогда $L = 687,5 \text{ млн км}$. Это расстояние Венера пролетает за 224,7 земных суток, т.е. средняя скорость ее движения составляет примерно 3,06 млн км/сутки. Следовательно, за 30 суток (месяц) планета пролетает 91,8 млн км. Знание астрономической единицы (149,6 либо 150 млн км) – 1 балл, правильный расчет длины орбиты Венеры - 2 балла, расчет скорости - 2 балла, правильный ответ - 2 балла, правильное округление (неучет значащих цифр, недостоверных из-за начального округления значения астр. единицы) – 1 балл.

3. Для пары Юпитер – Марс: нет, для пары Марс – Венера: да. Указание: Расстояния от Солнца составляют, соответственно, Венера: 0.72, Земля: 1.0, Марс: 1.52, Юпитер: 5.2 астрономических единиц. Таким образом, минимальное и максимальное расстояние этих планет от Земли составляют соответственно: для Венеры: 0.28 и 1.72, для Марса: 0.52 и 2.52, для Юпитера: 4.2 и 6.2. Для каждой пары правильный ответ - 2 балла, расчет минимальных и максимальных расстояний - 2 балла.

4. Новый год по григорианскому календарю (1 января), дата нахождения Земли в перигелии своей орбиты (4-5 января), Новый год по юлианскому календарю (14 января), весеннее равноденствие (23 марта), зимнее солнцестояние (21-22 декабря). За правильную последовательность - 8 баллов, за каждую ошибку – минус два балла.

5. Если звезда восходит строго на востоке и заходит строго на западе, то она находится на небесном экваторе. Ее склонение равно нулю и угол SOQ равен 38° . Отвесная ZZ' перпендикулярна горизонту NS , значит угол QOZ равен $90-38^\circ = 52^\circ$. В свою очередь, ось мира PP' перпендикулярна небесному экватору QQ' , т.е. угол $ZOP = 38^\circ$ и $\angle PON = \varphi = 52^\circ$, т.к. высота полюса мира равна широте местности.

Правильный ответ - 2 балла, знание теоремы о высоте полюса мира - 2 балла, объяснение с использованием понятийного аппарата сферической астрономии - 3 балла, чертёж – 1 балл



6. С 1054 года прошло 957 лет. Значит, взрыв произошел $957 + 6520 = 7477$ лет. Правильный ответ – более 7000 лет назад, поскольку точное расстояние неизвестно (2 кпк – грубая оценка). За выбор способа решения - 2 балла, за вычисление, сколько лет прошло с момента наблюдения Сверхновой – 2 балла, за вычисление истинного возраста Сверхновой – 2 балла, за понимание того, что указывать точное количество прошедших лет бессмысленно из-за недостаточной точности знания расстояния до туманности – 2 балла.

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
(2020 / 2021 учебный год)
9-10 классы**

ЗАДАНИЯ

1. Перечислить планеты Солнечной системы:
 - а. в порядке увеличения числа естественных спутников
 - б. в порядке увеличения масс.
2. На российской базе, работающей на воображаемой карликовой планете Бабр в поясе Койпера, находится воображаемый астроном Марина, которая 14 ноября отмечает свой день рождения. В этот день Бабр находится в афелии своей орбиты и в противостоянии с Землей. Друг Марины астроном Сергей из Иркутска решил поздравить ее так, чтобы его электронное письмо, отправленное по радио, пришло на Бабр 14 ноября ровно в 0 часов 00 минут по всемирному времени. Когда (дата и иркутское время) нужно отправить радиogramму? Большая полуось орбиты Бабра составляет 45 а.е., эксцентриситет орбиты – 0,4.
3. Сверхцивилизация для своих сверхзадач изготовила из Луны проволоку, которую протянули от Нептуна до Солнца. Каков диаметр этой проволоки?
4. Солнце обращается вокруг центра Галактики по круговой орбите радиусом $r = 26 \times 10^3$ световых лет со скоростью $v = 250$ км/с. Определите значение массы Галактики внутри солнечной орбиты M_G , приняв массу Солнца за единицу.
5. 22 июня вы ехали по ровной дороге на север. Вдруг вас ослепил солнечный блик от ветрового стекла встречной машины, идущей навстречу. Это было ровное стекло, наклоненное под углом 30° к вертикали. В какое время суток это случилось? Какова была высота Солнца? На какой приблизительно широте это произошло? Решение снабдить рисунком.
6. Напишите названия созвездий, в которых находятся следующие туманности:
 - а) Туманность Орёл;
 - б) Крабовидная туманность;
 - в) спиральная туманность М31;
 - г) Тройная (Трёхдольная) туманность. Укажите, какая из этих туманностей является остатком вспышки сверхновой звезды?

Справочные данные:

1 световой год = $9,46 \times 10^{15}$ метров

Большая полуось орбиты Нептуна = 30 а.е.

Диаметр Луны = 3474 км

Гравитационная постоянная $G = 6,67 \times 10^{-11}$ Н·м²/кг²

Масса Солнца $\sim 2 \times 10^{30}$ кг

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
(2020 / 2021 учебный год)
9-10 классы**

Рекомендуется оценивать решение по 8-балльной системе (от 0 до 8).

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

1. а, Меркурий (0), Венера (0), Земля (1), Марс (2), Нептун (14), Уран (27), Юпитер (79), Сатурн (82). За правильную последовательность - 4 балла, за каждую ошибку – минус один балл. б. Меркурий, Марс, Венера, Земля, Уран, Нептун, Сатурн, Юпитер. Несмотря на то, что Уран больше Нептуна по размерам, он меньше его по массе. Всего 4 балла за правильную последовательность, за каждую ошибку снимается один балл.

2. Решение



Орбита Земли - окружность чёрного круга, орбита Бабра - граница синего эллипса. Расстояние от Солнца до планеты в афелии $Q = a(1+e)$. $Q_{\text{Бабра}} = 45(1+0,4) = 45 \times 1,4 = 63$ а.е. Расстояние до планеты $R = Q_{\text{Бабра}} - R_{\text{Земли}} = 63 - 1 = 62$ а.е. Поскольку $1 \text{ а.е.} = 149,6 \text{ млн км}$, $R_{\text{Бабра}} = 62 \times 149,6 \text{ млн км} = 9275 \text{ млн км}$. Скорость света $300\,000 \text{ км/с}$, время передачи сообщения $t = 9275\,000\,000 / 300\,000 = 30917,3 \text{ с} = 8,58 \text{ часов}$. Сигнал нужно посылать за 8,6 часов до начала 14 ноября по всемирному времени, т.е. в 15 часов 24 минуты всемирного времени или в 23 часа 24 минуты по иркутскому времени. Знание формулы афелийного расстояния - 2 балла, учёт радиуса орбиты Земли - 2 балла, учёт разницы между местным и всемирным временем - 2 балла, правильность расчетов - 2 балла.

3. Приравнявая объёмы сферической Луны и цилиндрической проволоки, получим $(4\pi R_{\text{луны}}^3)/3 = \pi d^2 L/4$, где d – диаметр проволоки, L – расстояние от Нептуна до Солнца. Отсюда $d^2 = (16 R_{\text{луны}}^3 / 3L)$. Подставляя значения $L = 4\,500\,000\,000 \text{ км}$, $R_{\text{луны}} = 1737 \text{ км}$, получим $d \sim 2492 \text{ м}$. Знание формулы объёма шара – 3 балла, знание формулы объёма цилиндра – 2 балла, правильность вычислений – 3 балла, всего 8 баллов.

4. Приравнивая силу по второму закону Ньютона и закону всемирного тяготения

$$F = ma = \frac{GmM_G}{r^2}, \text{ определяем ускорение, с которым движется Солнечная система, } a = \frac{GM_G}{r^2}$$

Это центростремительное ускорение связано со скоростью по формуле $a = \frac{v^2}{r} = \frac{GM_G}{r^2}$, откуда

$v^2 = \frac{GM_G}{r}$. Окончательно $M_G = \frac{v^2 r}{G}$. Итого расчёт даёт $M_G = 2,3 \times 10^{41}$ кг. Разделим на массу Солнца $M_G = 1.15 \times 10^{11}$ масс Солнца (115 миллиардов).

Формулы силы всемирного тяготения, второго закона Ньютона и центростремительного ускорения — по 1 баллу, верный вывод формулы для определения массы галактики — 2 балла, верные расчёт массы галактики в килограммах — 2 балла, верные расчёт массы галактики в массах Солнца — 1 балл.

5. 22 июня – день летнего солнцестояния. Склонение Солнца в этот день равно $\delta = +23^\circ 27'$. Судя по условию, Солнце находилось точно на юге, то есть в верхней кульминации. Сделав построение падающего и отраженного от стекла лучей, можно определить, что высота Солнца над горизонтом была равна 60° . Применяя формулу для высоты светила в верхней кульминации $h = 90^\circ - \varphi + \delta$, получаем широту $\varphi = 53^\circ 27'$. До 4 баллов за общую логику решения, до 2 баллов за знание склонения Солнца в день солнцестояния, до 2 баллов за знание формулы высоты светила в кульминации, до 2 баллов за вычисления.

6. а) Туманность Орёл находится в созвездии Змеи

б) Крабовидная туманность находится в созвездии Телец

в) спиральная туманность М31 (туманность Андромеды) находится в созвездии Андромеда

г) Трёхдольная туманность находится в созвездии Стрелец

Остатком вспышки сверхновой звезды является Крабовидная туманность. 8 баллов полностью правильный ответ, за первые три ошибки снимается по 2 балла, за четвертую — 1 балл.

Муниципальный этап

Всероссийской олимпиады школьников по астрономии (2020 / 2021 учебный год)

11 классы

ЗАДАНИЯ

1. Перечислить планеты Солнечной системы:
 - а. в порядке увеличения числа естественных спутников
 - б. в порядке увеличения масс.
2. Синодический период обращения некоего небесного тела вокруг Солнца равен 417 суток. Каково его среднее расстояние до Солнца? Как Вы считаете, что это за небесное тело?
3. Когда Луна бывает самой яркой? Поясните ответ.
4. Знаменитый пульсар NP 0531 в Крабовидной туманности имеет период $T = 0,033$ с. Оценить его плотность.
5. На российской базе, работающей на воображаемой карликовой планете Бабр в поясе Койпера, находится воображаемый астроном Марина, которая 14 ноября отмечает свой день рождения. В этот день Бабр находится в афелии своей орбиты и в противостоянии с Землей. Друг Марины астроном Сергей из Иркутска решил поздравить ее так, чтобы его электронное письмо, отправленное по радио, пришло на Бабр 14 ноября ровно в 0 часов 00 минут по всемирному времени. Когда (дата и иркутское время) нужно отправить радиogramму? Большая полуось орбиты Бабра составляет 45 а.е., эксцентриситет орбиты – 0,4.
6. Карликовая планета Церера находится вблизи квадратуры. Диаметр Цереры равен 1000 км, а радиус ее орбиты – 2,77 а. е. Определите фазу Цереры и угловой поперечник освещенной части диска. Линейной фазой планеты называется величина F , равная отношению освещенной части ее углового диаметра к полному угловому диаметру.

Справочные данные:

Большая полуось орбиты Нептуна = 30 а.е.

Диаметр Луны 3474 км

Гравитационная постоянная $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
(2020 / 2021 учебный год)
11 классы**

Рекомендуется оценивать решение по 8-балльной системе (от 0 до 8).

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

1. а, Меркурий (0), Венера (0), Земля (1), Марс (2), Нептун (14), Уран (27), Юпитер (79), Сатурн (82). За правильную последовательность - 4 балла, за каждую ошибку – минус один балл. б. Меркурий, Марс, Венера, Земля, Уран, Нептун, Сатурн, Юпитер. Несмотря на то, что Уран больше Нептуна по размерам, он меньше его по массе. Всего 4 балла за правильную последовательность, за каждую ошибку снимается один балл.

2. По формуле, связывающей синодические и сидерические периоды обращения небесного тела и Земли, $1/T_{\text{син}} = 1/1 \text{ год} - 1/T_{\text{сид}}$, находим $T_{\text{сид}} = 8 \text{ лет}$. Применяв третий закон Кеплера, запишем $T_{\text{сид}}^2 = a^3$, где сидерический период выражен в земных годах, большая полуось орбиты a – в астрономических единицах. Отсюда $a = 4 \text{ а.е.}$ На таком расстоянии от Солнца находятся орбиты Главного пояса астероидов, поэтому скорее всего, это – астероид. Знание первой формулы – 2 балла, знание закона Кеплера – 2 балла, знание размеров пояса астероидов = 2 балла, правильность расчетов – 2 балла, всего 8 баллов.

3. Чтобы Луна была самой яркой, она должна быть а) на фазе полнолуния (когда тени от неровностей минимальны), б) на максимальной высоте над горизонтом (когда минимальны поглощение и рассеяние лунного света в земной атмосфере) в) на минимальном расстоянии от Земли, г) на минимальном удалении от Солнца. Высота Луны в полнолунии максимальна в декабре – т.к. Солнце в это время ниже всего под горизонтом. Ближе всего к Земле Луна бывает через каждые 27.3 суток. Ближе всего к Солнцу бывает Земля с Луной в начале января. Учитывая все условия, ответ: в полнолунии, зимой в момент верхней кульминации, причем Луна должна быть в перигее своей орбиты. За учет каждого из четырех факторов – по 2 балла.,

4. Пульсаром называется нейтронная звезда с очень быстрым вращением. Период вращения пульсара $T = \frac{2\pi R}{V}$ (1). Предельную скорость вращения нейтронной звезды можно найти из второго закона Ньютона для точки на экваторе пульсара

$$\frac{GM}{R^2} = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

где M – масса пульсара, R – его радиус, V – линейная скорость точки на экваторе пульсара. Быстрее вращаться пульсар не может, иначе его разорвет центробежная сила. Поскольку объем шара $W = \frac{4}{3}\pi R^3$ (3), плотность $\rho = M/W$, получим

$$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$$

Отсюда плотность пульсара в Крабовидной туманности $\rho = 3\pi/GT^2 = 1,3 \cdot 10^{14} \text{ кг/м}^3$. За знание каждой из формул (1), (2), (3) – по 2 балла, за дальнейший ход рассуждений и вычисления – 2 балла.

5.



Орбита Земли - окружность чёрного круга, орбита Бабра - граница синего эллипса. Расстояние от Солнца до планеты в афелии $Q = a(1+e)$. $Q_{\text{Бабра}} = 45(1+0,4) = 45 \times 1,4 = 63$ а.е. Расстояние до планеты $R = Q_{\text{Бабра}} - R_{\text{Земли}} = 63 - 1 = 62$ а.е. Поскольку $1 \text{ а.е.} = 149,6 \text{ млн км}$, $R_{\text{Бабра}} = 62 \times 149,6 \text{ млн км} = 9275 \text{ млн км}$. Скорость света $300\,000 \text{ км/с}$, время передачи сообщения $t = 9275\,000\,000 / 300\,000 = 30917,3 \text{ с} = 8,58 \text{ часов}$. Сигнал нужно посылать за 8,6 часов до начала 14 ноября по всемирному времени, т.е. в 15 часов 24 минуты всемирного времени или в 23 часа 24 минуты по иркутскому времени. Знание значений скорости света и астрономической единицы - по 1 баллу, знание формулы афелийного расстояния - 2 балла, учёт радиуса орбиты Земли - 1 балл, учёт разницы между местным и всемирным временем - 1 балл, правильность расчетов - 2 балла.

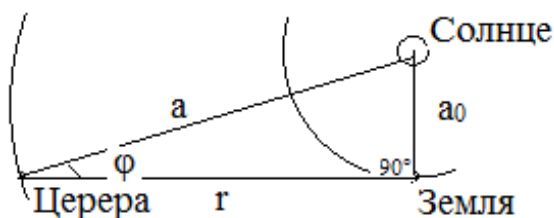
6. Определим расстояние до Цереры r в момент ее квадратуры. Оно равно

$$r = \sqrt{a^2 - a_0^2} = 2,58 \text{ а.е.}$$

Здесь a и a_0 - радиусы орбит Цереры и Земли соответственно. Если обозначить диаметр Цереры через d , то угловой диаметр Цереры равен $\delta = d/r = 0,53''$. Линейная фаза Цереры F , равная отношению освещенной части ее углового диаметра к полному угловому диаметру, рассчитывается по формуле

$$F = \frac{1 + \cos \varphi}{2} = \frac{1 + r/a}{2} = 0,966,$$

где φ - фазовый угол Цереры, т. е. угол между направлениями от Цереры на Солнце и Землю (см. рисунок). Угловой поперечник освещенной части диска Цереры составит $\delta \cdot F = 0,53'' \times 0,966 \approx 0,5''$.



До 2 баллов за определение расстояния до Цереры, до 3 баллов за вывод формулы для фазы Цереры, до 2 баллов за определение углового поперечника освещенной части диска Цереры, 1 балл за вычисления. Может быть добавлен 1 балл за общий ход решения.