**Муниципальный этап ВсОШ по астрономии 2023-2023 уч. г.**

**7-8 классы**

По теоретическому туру максимальная оценка результатов участника возрастной группы (**7-8 классы**) определяется арифметической суммой всех баллов, полученных за выполнение заданий и не должна превышать **48 баллов**.

ЗАДАНИЕ 1.

**Условие**. Астроном зафиксировал восход звезды в 23 часа 15 минут по местному времени. Определите с точностью до минуты, когда можно наблюдать ближайший заход звезды, если известно, что под горизонтом она проводит втрое больше времени, чем над горизонтом. Закрытие горизонта наземными объектами не учитывать.

**Решение.** Звезда возвращается в одну и ту же точку неба каждые звездные сутки, примерно равные 23 часа 56 минут. Из условия задачи следует, что звезда проводит над горизонтом четверть от звездных суток, то есть 5 часов 59 минут. Так как восход произошёл в 23 часа 15 минут, то заход произойдет через 5 часов 59 минут, или в 5 часов 14 минут на следующий день. Ответ задачи: в 5 часов 14 минут, на следующий день.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Необходимо указать, что одинаковые положения звезды на небе повторяются через звездные сутки, этот шаг оценивается в 4 балла. Тот факт, что звезда находится над горизонтом четверть от длительности звездных суток, оценивается в 2 балла. Получение численно верного ответа оценивается в 2 балла.

**Возможные ошибки в ходе решения**. Вместо продолжительности звездных суток, могут быть использованы солнечные сутки равные 24 часам. Тогда первый пункт решения оценивается нулевым баллом, а все остальные пункты оцениваются согласно методике. Максимальная оценка при наличии указанной ошибки не может превышать 4 балла.

ЗАДАНИЕ 2**.**

**Условие.** Самая яркая звезда созвездия Орион (β Ориона) с собственным названием Ригель имеет экваториальные координаты α=5 часов 14 мин, δ=−8°12ʹ. На какой максимальной высоте над горизонтом эта звезда может наблюдаться в городе Томске (широта 56°29ʹ)?

**Решение**. Так как звезда находится в южном полушарии неба, а место наблюдения – в северном, то верхняя кульминация происходит к югу от зенита. Высота верхней кульминации вычисляется по формуле



Ответ задачи: 25°19ʹ.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Необходимо установить, что кульминация звезды происходит к югу от зенита (2 балла). Формула для высоты верхней кульминации оценивается в 4 балла. Формула может быть дана без вывода, оценка не снижается. Подстановка данных из условия задачи, проведение корректных вычислений (сложение градусов и минут) оценивается 2 балла.

ЗАДАНИЕ 3**.**

**Условие.** Спутник Тефия обращается по круговой орбите вокруг планеты Сатурн с радиусом 295 тысяч километров и периодом 1,89 дня, а Луна обходит Землю по орбите радиусом 384 тысячи километров за 27,3 дня. Определите, какой из спутников движется по своей орбите быстрее и во сколько раз?

**Решение**. Скорость орбитального движения спутника по круговой орбите с радиусом *R* и периодом *T* определяется формулой



Подставляя значения из условий задачи, находим скорость орбитального движения Тефии 11,4 км/с, а у Луны – 1,02 км/с. Отсюда делаем вывод, что Тефия движется 11,4/1,02=11,2 раз быстрее. Ответ: Тефия движется быстрее в 11,2 раза.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Необходимо указать формулу для вычисления скорости движения по круговой орбите с известным радиусом и периодом (4 балла). Вычисление скоростей орбитального движения Тефии и Луны оценивается в 2 балла. Получение численно верного ответа задачи оценивается в 2 балла. Правильными следует считать ответы, которых Тефия движется быстрее, а отношение скоростей находится в диапазоне от 11 до 11,5.

**Комментарий**. Задача может быть решена многими способами, например, без вычисления орбитальных скоростей Тефии и Луны. Любое корректное решение оценивается максимальным баллом.

ЗАДАНИЕ 4.

**Условие.** В восточной части неба, очень низко над горизонтом, в точке с экваториальными координатами α=12 часов, δ=0° наблюдается полная Луна. Определите, время суток, месяц и день года, когда могло наблюдаться такое положение Луны. Какое редкое астрономическое явление может наблюдаться в этот день? Ответ обосновать.

**Решение.** Полная Луна находится в стороне неба противоположной от Солнца. Если Луна на востоке и низко над горизонтом, то Солнце на западе неглубоко под горизонтом. Оно только что зашло. Отсюда время суток вечер. Из условия противоположности Солнца и Луны, можно найти координаты Солнца α=0 часов, δ=0. Это точка весеннего равноденствия. Солнце бывает в ней 20-21 марта. Отсюда найдем день года. Кроме того, полная Луна находится на эклиптике, и поэтому она непременно попадет в тень Земли. Астрономическое явление – лунное затмение. Ответ: 20-21 марта, вечер, лунное затмение.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Необходимо отметить факт, что полная Луна на небесной сфере располагается напротив Солнца (2 балла). Определение времени суток и дня года оценивается еще по 2 балла за позицию (4 балла за 2 позиции). Определение астрономического события – лунного затмения оценивается в 2 балла.

ЗАДАНИЕ 5**.**

**Условие.** Рассматривая фотографию неба во время полного солнечного затмения, юный астроном Вася заметил, что Меркурий располагается в созвездии Скорпиона, а Венера находится в созвездии Льва. Помогите Васе с ошибкой не более половины месяца определить день года, в который могла быть сделана такая фотография.

**Решение.** Меркурий и Венера являются внутренними планетами, и они никогда не удаляются далеко от Солнца (Меркурий – не более 28°, Венера – не более 48°). Между созвездиями Скорпиона и Льва располагается еще два зодиакальных созвездия Дева и Весы. Каждое из них занимает примерно по 30° на эклиптике (на 12 знаков приходится полная окружность в 360°; порядок знаков Лев, Дева, Весы, Скорпион), так что угловое расстояние между Меркурием и Венерой близко к максимально возможному значению, и планеты находятся по разные стороны от Солнца. Так как Меркурий ближе к Солнцу, то последнее должно быть в созвездии Весов, а не Девы. Остается узнать, когда Солнце бывает в созвездии Весов. Для этого можно воспользоваться одним из двух соображений. Либо необходимо помнить о том, что точка осеннего равноденствия располагается в созвездии Девы в начале созвездия, и тогда Весы − следующее созвездие, в котором Солнце будет примерно через месяц. В этом случае, получающийся ответ – конец октября – первая половина ноября. Можно знать о том, что положение Солнца в созвездии и знаке зодиака сдвинуто примерно на месяц. Тогда в реальном созвездии Весов Солнце должно быть с 24 октября по 23 ноября, что соответствует знаку зодиака Скорпион. Оба ответа приводят к месячному интервалу в пределах с 16 октября по 23 ноября. Отмечу, что описанное в условии расположение Меркурия, Венеры и Солнца (без затмения, которое возможно в любой день года) будет иметь место 01 ноября 2031 г.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Нужно отметить, что Меркурий и Венера являются внутренними планетами, и не могут удаляться далеко от Солнца на небе (1 балл), если указаны максимальные значения элонгаций, то надо добавить еще 1 балл. Далее нужно оценить угловое расстояние между созвездиями Льва и Скорпиона цифрой порядка 60° (1 балл), и сделать вывод, что планеты находятся по разные стороны от Солнца, причем почти максимально удалены (1 балл). Так как Меркурий ближе к Солнцу, чем Венера, то Солнце находится в созвездии Весов – 2 балла. Наконец, определение интервала временного интервала, в который Солнце находится в созвездии Весов, оценивается в 2 балла. Точными можно считать ответы, указывающие месячный интервал в период с 16 октября по 23 ноября. Допускается словесная формулировка ответа: со второй половины октября по вторую половину ноября.

**Возможные ошибки в ходе решения.** Вместо расположения Солнца в созвездии, можно взять время расположения светила в знаке зодиака. Как уже отмечалось, в настоящее время эти даты двинуты примерно на месяц. В знаке Весов Солнце находится примерно с 24 сентября по 23 октября. Если в ответе задачи указан этот временной интервал, либо его часть, то все предыдущие этапы решения в отсутствие ошибок оцениваются полным баллом, а за определение дня ставится нулевой результат. Максимальная оценка за решение с такой ошибкой не может превысить 6 баллов.

ЗАДАНИЕ 6.

**Условие**. Радиус круговой гелиоцентрической орбиты астероида Аррокот, самого далекого от Солнца небесного тела, исследованного с близкого расстояния космическим аппаратом, в 44 раза больше, чем у Земли. Вычислите время, за которое астероид делает полный оборот вокруг Солнца.

**Решение.** Астероиды движутся по гелиоцентрической орбите.Воспользуемся третьим законом Кеплера, сравнив Аррокот с Землей. Тогда из равенства *T*2=*a*3, в котором период измеряется в годах, а радиус орбиты в астрономических единицах, найдем



Ответ задачи: 292 года.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Надо указать, что астероиды движутся по орбите вокруг Солнца (2 балла). Ключевым этапом решения задачи является использование третьего закона Кеплера (2 балла). Еще в 2 балла оценивается определение необходимых данных из условия задачи. Получение численно верного ответа оценивается в 2 балла. Точными можно считать ответы в интервале от 290 до 295 лет.

**Муниципальный этап ВсОШ по астрономии 2022-2023 уч. г.**

**9 класс**

По теоретическому туру максимальная оценка результатов участника возрастной группы (**9 класс**) определяется арифметической суммой всех баллов, полученных за выполнение заданий и не должна превышать **48 баллов**.

ЗАДАНИЕ 1.

**Условие**. Самая яркая звезда созвездия Орион (β Ориона) с собственным названием Ригель имеет экваториальные координаты α=5 часов 14 мин, δ=−8°12ʹ. На какой максимальной высоте над горизонтом эта звезда может наблюдаться в городе Томске (широта 56°29ʹ)?

**Решение**. Так как звезда находится в южном полушарии неба, а место наблюдения – в северном, то верхняя кульминация происходит к югу от зенита. Высота верхней кульминации вычисляется по формуле



Ответ задачи: 25°19ʹ.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Необходимо установить, что кульминация звезды происходит к югу от зенита (2 балла). Формула для высоты верхней кульминации оценивается в 4 балла. Формула может быть дана без вывода, оценка не снижается. Подстановка данных из условия задачи, проведение корректных вычислений (сложение градусов и минут) оценивается 2 балла.

ЗАДАНИЕ 2.

**Условие**. В восточной части неба, очень низко над горизонтом, в точке с экваториальными координатами α=12 часов, δ=0° наблюдается полная Луна. Определите, время суток, месяц и день года, когда могло наблюдаться такое положение Луны. Какое редкое астрономическое явление может наблюдаться в этот день? Ответ обосновать.

**Решение.** Полная Луна находится в стороне неба противоположной от Солнца. Если Луна на востоке и низко над горизонтом, то Солнце на западе неглубоко под горизонтом. Оно только что зашло. Отсюда время суток вечер. Из условия противоположности Солнца и Луны, можно найти координаты Солнца α=0 часов, δ=0. Это точка весеннего равноденствия. Солнце бывает в ней 20-21 марта. Отсюда найдем день года. Кроме того, полная Луна находится на эклиптике, и поэтому она непременно попадет в тень Земли. Астрономическое явление – лунное затмение. Ответ: 20-21 марта, вечер, лунное затмение.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Необходимо отметить факт, что полная Луна на небесной сфере располагается напротив Солнца (2 балла). Определение времени суток и дня года оценивается еще по 2 балла за позицию (4 балла за 2 позиции). Определение астрономического события – лунного затмения оценивается в 2 балла.

ЗАДАНИЕ 3.

**Условие**. Странные астрономы, живущие на странной планете, вращающейся вокруг странной звезды, обнаружили, что звезда с годичным параллаксом в π=1" находится на расстоянии одного светового года. Считая скорость света неизменной, найдите (в астрономических единицах) большую полуось странной планеты.

**Решение**. По определению, параллаксом звезды называется угол, под которым видна со звезды большая полуось орбиты планеты. Когда годичный параллакс измеряется с Земли, то параллакс в 1" достигается на расстоянии в 1 парсек, равный 3,26 светового года. Здесь такое же значение параллакса достигается на расстоянии в 3,26 раза меньше (1 световой год). Так как угловой размер пропорционален отношению линейного размера и расстояния, большая полуось орбиты странной планеты в 3,26 раза меньше, то есть 1/3,26=0,307 а.е. Ответ задачи: 0,307 а.е.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Ключевым шагом решения является установление взаимосвязи между величиной параллакса, радиусом орбиты (большой полуоси орбиты) и расстоянием до звезды. Эта взаимосвязь может быть описана либо в формульном, либо в словестном виде (4 балла). Вывод о том, что радиус орбиты странной планеты в 3,26 раза меньше чем у Земли, оценивается в 2 балла. Получение численно верного ответа оценивается в 2 балла. Правильными можно считать ответы от 0,3 до 0,31 а.е.

ЗАДАНИЕ 4**.**

**Условие.** На спутнике Юпитера Ио (радиус 1815 км, масса 89∙1021 кг) вулканы выбрасывают потоки вещества из недр на высоту до 300 километров. Оцените, с какой максимальной скоростью происходит выброс вещества из жерла вулканов на этом спутнике?

**Решение.** Максимальной высоты достигают потоки, выброшенные вертикально вверх. Поэтому необходимо рассмотреть задачу о движении тела, брошенного вертикально. Так как высота выброса вещества значительно меньше радиуса спутника, то ускорение свободного падения можно приближенно считать постоянным. В этом случае начальная скорость выброса вещества *v*, высота подъема *h* и ускорение свободного падения *g* связаны формулой



Ускорение свободного падения на поверхности Ио, определяется формулой



Здесь *G* – гравитационная постоянная, *M* – масса спутника, *R* – радиус. Подстановка данных из условия задачи дает *g*=1,80 м/с. Отсюда *v*=1040 м/с. Ответ: 1040 м/с.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Для решения задачи необходимо знать формулу для вычисления ускорения свободного падения на поверхности шарообразного небесного тела, и формулу для высоты подъёма тела, брошенного вертикально, дается по 2 балла за формулу (всего 4 балла за 2 формулы). Явно должно быть указано условие применимости равноускоренного движения – малость высоты подъёма по сравнению с радиусом спутника (2 балла). Правильное определение всех данных в условии задачи и получение численно верного ответа, оценивается еще в 2 балла. Численно верными считать ответы от 1000 до 1100 м/с.

ЗАДАНИЕ 5**.**

**Условие.** 8 декабря 2022 года планета Марс находится в противостоянии с Землей. Считая, что Марс движется вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом 1,524 а.е., определите, год, месяц и день месяца, когда должно наступить следующее противостояние красной планеты.

**Решение.** Противостояния планеты повторяются через синодический период. Синодический период внешней планеты, которой является Марс, находится по формуле



Здесь *Tз* – сидерический период Земли, *T* – сидерический период планеты, *S* – синодический период планеты. Сидерический период Марса находится по формуле третьего закона Кеплера,



Здесь радиус орбиты *a* измеряется в астрономических единицах, а период *T* – в годах. Подстановка данных из условия задачи позволяет найти *T*=1,881 года, *S*=2,135 года=779,8 суток [считаем, что год равен 365,24 дней]. Последняя величина представима в виде суммы 779,8=365+366+48,8 дней. Другими словами, нужно добавить 2 года, 1 месяц в 31 день, и 17,8≈18 суток. Получается дата 26 января 2025 г. Здесь нужно учесть, что 2024 год является високосным и содержит 366 вместо 365 дней.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Решение задачи состоит из трех больших этапов. Сначала нужно вычислить сидерический (звездный) период обращения Марса вокруг Солнца, с использованием третьего закона Кеплера (3 балла). Потом нужно найти синодический период планеты (3 балла). Должно быть явно указано, что Марс – внешняя планета. Иначе за этот пункт оценка снижается на один балл. Наконец, нужно вычислить дату следующего противостояния (2 балла). Требуется явно учесть, что 2024 год является високосным и содержит 365 суток. Правильными ответами (в зависимости от погрешности округления) можно считать 25-26 января 2025 г. Если ответ указывает дату 26 января, то цифра должна быть получена в результате округления синодического периода Марса до 780 суток, не в результате пропуска високосного года. Ответ 27 января считать неверным по причине пропуска високосного года, и оценивать последний пункт решения задачи в 1 балл (не более 7 баллов за решение).

**Возможные ошибки в ходе решения.** В реальности, из-за вытянутости орбиты Марса противостояние наступит чуть раньше - 16 января 2025. Данный ответ можно получить только с использованием электронного планетария, использующего сложные модели движения планет. Ответ считать неверным, если не объяснено его происхождение.

ЗАДАНИЕ 6.

**Условие**. Планету Сатурн наблюдают в телескоп с увеличением 280 крат. Под каким углом планета видна в телескоп, если угловой диаметр Сатурна в день наблюдения равен 18"? Во сколько раз видимый в телескоп угловой диаметр планеты больше диска полной Луны, который при наблюдении невооруженным глазом равен 0°,5?

**Решение.** Увеличение телескопа указывает то количество раз, в которое телескоп увеличивает видимый угловой размер светила. При увеличении 280 крат Сатурн будет виден под углом 280∙18"=5040"=84ʹ=1°,4. Отношение угловых размеров дисков 1°,4/0°,5=2,8. Ответ задачи: 1°,4; Сатурн больше в 2,8 раза.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Нужно указать, что увеличение характеризует то, во сколько раз телескоп увеличивает угловой размер объекта (2 балла). Далее надо посчитать угловой размер Сатурна при наблюдении в телескоп (2 балла) и сравнить его с угловым размером Луны (2 балла). Численно верный ответ задачи добавляет еще 2 балла.

**Муниципальный этап ВсОШ по астрономии 2022-2023 уч. г.**

**10 класс**

По теоретическому туру максимальная оценка результатов участника возрастной группы (**10 класс**) определяется арифметической суммой всех баллов, полученных за выполнение заданий и не должна превышать **48 баллов**.

ЗАДАНИЕ 1.

**Условие**. На спутнике Юпитера Ио (радиус 1815 км, масса 89∙1021 кг) вулканы выбрасывают потоки вещества из недр на высоту до 300 километров. Оцените, с какой максимальной скоростью происходит выброс вещества из жерла вулканов на этом спутнике.

**Решение и методика оценки решения**. См. задание 4, 9 класс.

**Решение.** Максимальной высоты достигают потоки, выброшенные вертикально вверх. Поэтому необходимо рассмотреть задачу о движении тела, брошенного вертикально. Так как высота выброса вещества значительно меньше радиуса спутника, то ускорение свободного падения можно приближенно считать постоянным. В этом случае начальная скорость выброса вещества *v*, высота подъема *h* и ускорение свободного падения *g* связаны формулой



Ускорение свободного падения на поверхности Ио, определяется формулой



Здесь *G* – гравитационная постоянная, *M* – масса спутника, *R* – радиус. Подстановка данных из условия задачи дает *g*=1,80 м/с. Отсюда *v*=1040 м/с. Ответ: 1040 м/с.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Для решения задачи необходимо знать формулу для вычисления ускорения свободного падения на поверхности шарообразного небесного тела, и формулу для высоты подъёма тела, брошенного вертикально, дается по 2 балла за формулу (всего 4 балла за 2 формулы). Явно должно быть указано условие применимости равноускоренного движения – малость высоты подъёма по сравнению с радиусом спутника (2 балла). Правильное определение всех данных в условии задачи и получение численно верного ответа, оценивается еще в 2 балла. Численно верными считать ответы от 1000 до 1100 м/с.

ЗАДАНИЕ 2.

**Условие.** 8 декабря 2022 года планета Марс находится в противостоянии с Землей. Считая, что Марс движется вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом 1,524 а.е., определите, год, месяц и день месяца, когда должно наступить следующее противостояние красной планеты.

**Решение.** Противостояния планеты повторяются через синодический период. Синодический период внешней планеты, которой является Марс, находится по формуле



Здесь *Tз* – сидерический период Земли, *T* – сидерический период планеты, *S* – синодический период планеты. Сидерический период Марса находится по формуле третьего закона Кеплера,



Здесь радиус орбиты *a* измеряется в астрономических единицах, а период *T* – в годах. Подстановка данных из условия задачи позволяет найти *T*=1,881 года, *S*=2,135 года=779,8 суток [считаем, что год равен 365,24 дней]. Последняя величина представима в виде суммы 779,8=365+366+48,8 дней. Другими словами, нужно добавить 2 года, 1 месяц в 31 день, и 17,8≈18 суток. Получается дата 26 января 2025 г. Здесь нужно учесть, что 2024 год является високосным и содержит 366 вместо 365 дней.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Решение задачи состоит из трех больших этапов. Сначала нужно вычислить сидерический (звездный) период обращения Марса вокруг Солнца, с использованием третьего закона Кеплера (3 балла). Потом нужно найти синодический период планеты (3 балла). Должно быть явно указано, что Марс – внешняя планета. Иначе за этот пункт оценка снижается на один балл. Наконец, нужно вычислить дату следующего противостояния (2 балла). Требуется явно учесть, что 2024 год является високосным и содержит 365 суток. Правильными ответами (в зависимости от погрешности округления) можно считать 25-26 января 2025 г. Если ответ указывает дату 26 января, то цифра должна быть получена в результате округления синодического периода Марса до 780 суток, не в результате пропуска високосного года. Ответ 27 января считать неверным по причине пропуска високосного года, и оценивать последний пункт решения задачи в 1 балл (не более 7 баллов за решение).

**Возможные ошибки в ходе решения.** В реальности, из-за вытянутости орбиты Марса противостояние наступит чуть раньше - 16 января 2025. Данный ответ можно получить только с использованием электронного планетария, использующего сложные модели движения планет. Ответ считать неверным, если не объяснено его происхождение.

ЗАДАНИЕ 3.

**Условие.** Планету Сатурн наблюдают в телескоп с увеличением 280 крат. Под каким углом планета видна в телескоп, если угловой диаметр Сатурна в день наблюдения равен 18"? Во сколько раз видимый в телескоп угловой диаметр планеты больше диска полной Луны, который при наблюдении невооруженным глазом равен 0°,5?

**Решение.** Увеличение телескопа указывает то количество раз, в которое телескоп увеличивает видимый угловой размер светила. При увеличении 280 крат Сатурн будет виден под углом 280∙18"=5040"=84ʹ=1°,4. Отношение угловых размеров дисков 1°,4/0°,5=2,8. Ответ задачи: 1°,4; Сатурн больше в 2,8 раза.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Нужно указать, что увеличение характеризует то, во сколько раз телескоп увеличивает угловой размер объекта (2 балла). Далее надо посчитать угловой размер Сатурна при наблюдении в телескоп (2 балла) и сравнить его с угловым размером Луны (2 балла). Численно верный ответ задачи добавляет еще 2 балла.

ЗАДАНИЕ 4**.**

**Условие.** Двойная звезда 70 Змееносца состоит из двух компонент со звездной величиной 4*m*,1 и 6*m*,1, обращающихся по орбите с большой полуосью 23,2 а.е. и периодом 88,38 лет. Считая светимость звезды пропорциональной четвертой степени массы, найдите по отдельности массы компонент двойной звезды.

**Решение**. Из условия задачи очень легко найти сумму масс двойной системы. Если измерять периоды в годах, большую полуось в астрономических единицах, а массы в массах Солнца, то третий закон Кеплера в обобщенной формулировке имеет вид



Здесь *m*1, *m*2 – массы компонент двойной системы, *T* – период, *а* – большая полуось. Период и большая полуось даны в условии задачи. Отсюда находим сумму масс: *m*1+*m*2=1,60 масс Солнца. Теперь нам надо найти массы по отдельности. Из условия задачи следует, что светимость пропорциональна 4й степени массы. Так как обе звезды находятся примерно на одном расстоянии, то отношение светимостей есть отношение освещенностей, создаваемых звездами на Земле. В свою очередь, разность звездных величин на 1 значит разницу освещённостей в 2,5 раза, а на 2 величины – в 6,25 раз. Извлекая корень четвертой степени из последней величины, получаем *m*1/*m*2=1,58, причем компонент с меньшей звездной величиной более массивен. Далее решаем систему уравнений



Отсюда получаем ответ *m*1=0,98, *m*2=0,62 (масс Солнца). Это ответ задачи.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Процедура решения задачи разбивается на два больших этапа: определение суммы масс компонент двойной звезды, и масс компонент по отдельности. На первом этапе ключевым шагом является использование третьего закона Кеплера в обобщенной форме. За запись формулы закона выставляется 2 балла, определение суммы масс компонентов двойной звезды – еще 2 балла. Следующий шаг состоит в определении отношения масс. Нужно найти конвертировать либо с помощью словесного правила, либо с помощью формулы Погсона, разницу звездных величин в отношение освещенностей (1 балла), а потом констатировать, что эта величина есть отношение четвертых степеней масс (1 балл). Определение отношения масс оценивается в 1 балл, и еще 1 балл добавляется за определение корректных значений масс. Возможные отклонения от полученных в ответе задачи цифр – не более 0,02 массы Солнца (масса массивного компонента от 0,96 до 1,00 масс Солнца, менее массивного – от 0,60 до 0,64 масс Солнца).

ЗАДАНИЕ 5.

**Условие.** Подлетев к неизвестной планете, космонавты обнаружили у нее небольшой спутник, движущийся по низкой круговой орбите с периодом 3 часа. Оцените среднюю плотность планеты. В какую сторону изменится оценка средней плотности, если учесть, что высота орбиты спутника не может быть равна нулю?

**Решение**. Планета является шарообразным или почти шарообразным телом. Так как орбита является низкой, то радиус круговой орбиты можно принять равным радиусу планеты. Движение по этой орбите происходит с первой космической скоростью, а период полностью определяется плотностью планеты *ρ* по формуле



Нам известно *T*=3часа=10800 секунд. Отсюда



Если учесть, что низкая орбита имеет хоть небольшую, но ненулевую высоту, то полученное значение увеличится, так как масса планеты будет распределена по меньшему объему. Ответ 1200 кг/м3. Если учесть ненулевую высоту орбиты, то плотность увеличится.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Сначала нужно отметить, что планета является шарообразным телом (2 балла). Потом нужно вычислить период обращения тела по низкой орбите, и увидеть, что он зависит от плотности планеты, но не от массы и радиуса по отдельности (2 балла). Далее нужно посчитать плотность планеты, считая высоту орбиту нулевой (2 балла). Правильными считаются ответы от 1150 до 1250 кг/м3. Наконец упоминание того, что реальная плотность планеты больше оценивается в 2 балла.

ЗАДАНИЕ 6.

**Условие**. Согласно интерферометрическим измерениям, видимый угловой диаметр звезды Бетельгейзе (α Ориона) равен 0",048, а ее параллакс – 0",006. Определите, чему равен линейный диаметр звезды, выраженный в астрономических единицах. Ответ необходимо обосновать.

**Решение.** По определению, параллаксом называется угол, под которым видна со звезды большая полуось земной орбиты. Из условия задачи этот угол 0",006. Угловой диаметр звезды в 0",048/0",006=8 раз больше. Так как сравниваемые объекты – большая полуось земной орбиты и звезда – находятся на одном расстоянии, то отношение угловых диаметров равно отношению линейных размеров. Так как астрономическая единица равна большой полуоси земной орбиты, то линейный диаметр звезды равен 8 а.е. Ответ: 8 а.е.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Сначала необходимо использовать определение параллакса и установить, что большая полуось земной орбиты при рассмотрении со звезды Бетельгейзе видна под углом 0",006 (2 балла). Потом нужно сравнить численное значение углового размера звезды и параллакса, сделав вывод, что диаметр звезды в 8 раз больше (2 балла). Далее нужно указать связь астрономической единицы с большой полуосью земной орбиты и выразить размер звезды в астрономических единицах (2 балла). Получение численно верного ответа оценивается в 2 балла.

**Комментарий.** Задача имеет много способов решения. Любое правильное решение оценивается полным баллом.

**Муниципальный этап ВсОШ по астрономии 2022-2023 уч. г.**

**11 класс**

По теоретическому туру максимальная оценка результатов участника возрастной группы (**11 класс**) определяется арифметической суммой всех баллов, полученных за выполнение заданий и не должна превышать **48 баллов**.

ЗАДАНИЕ 1.

**Условие**. 22 июня, во время своего привала в обед, путешественник обнаружил, что длина тени вертикально стоящего дерева в местный полдень в 2,75 раза меньше его высоты. На основании этих данных, ему удалось вычислить широту места наблюдения. Какое значение широты могло получиться? Поход проходит на территории России.

**Решение**. Из геометрии задачи следует, что величина 2,75 есть тангенс высоты Солнца в момент наблюдения. Отсюда находим высоту Солнца



Так как наблюдение производилось в местный полдень, это высота светила в верхней кульминации. Склонение Солнца 22 июня максимально и равно +23°26ʹ. Так как поход проходит по территории РФ, то кульминация Солнца будет югу от зенита. Отсюда, используя формулу для высоты верхней кульминации находим,



Значение широты соответствует самым южным областям РФ. Очевидно, поход проходил в одном из этих регионов. Ответ задачи 43°25'.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Сначала, с помощью решения прямоугольного треугольника, надо найти высоту Солнца (2 балла). Далее нужно определить широту места наблюдения. Здесь критически важно заметить, что на территории РФ, которая целиком лежит к северу от зоны тропиков, Солнце всегда кульминирует к югу от зенита (1 балл). Далее нужно записать формулу для высоты верхней кульминации к югу от зенита (1 балл), учесть, что склонение Солнца равно 23°26ʹ (2 балла), и решая уравнение, найти широту (1 балл). Если получен численно верный ответ, то добавить еще 1 балл. Численно верными считать ответы от 43°24' до 43°26'.

ЗАДАНИЕ 2**.**

**Условие.** Двойная звезда 70 Змееносца состоит из двух компонент со звездной величиной 4*m*,1 и 6*m*,1, обращающихся по орбите с большой полуосью 23,2 а.е. и периодом 88,38 лет. Считая светимость звезды пропорциональной четвертой степени массы, найдите по отдельности массы компонент двойной звезды.

**Решение**. Из условия задачи очень легко найти сумму масс двойной системы. Если измерять периоды в годах, большую полуось в астрономических единицах, а массы в массах Солнца, то третий закон Кеплера в обобщенной формулировке имеет вид



Здесь *m*1, *m*2 – массы компонент двойной системы, *T* – период, *а* – большая полуось. Период и большая полуось даны в условии задачи. Отсюда находим сумму масс: *m*1+*m*2=1,60 масс Солнца. Теперь нам надо найти массы по отдельности. Из условия задачи следует, что светимость пропорциональна 4й степени массы. Так как обе звезды находятся примерно на одном расстоянии, то отношение светимостей есть отношение освещенностей, создаваемых звездами на Земле. В свою очередь, разность звездных величин на 1 значит разницу освещённостей в 2,5 раза, а на 2 величины – в 6,25 раз. Извлекая корень четвертой степени из последней величины, получаем *m*1/*m*2=1,58, причем компонент с меньшей звездной величиной более массивен. Далее решаем систему уравнений



Отсюда получаем ответ *m*1=0,98, *m*2=0,62 (масс Солнца). Это ответ задачи.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Процедура решения задачи разбивается на два больших этапа: определение суммы масс компонент двойной звезды, и масс компонент по отдельности. На первом этапе ключевым шагом является использование третьего закона Кеплера в обобщенной форме. За запись формулы закона выставляется 2 балла, определение суммы масс компонентов двойной звезды – еще 2 балла. Следующий шаг состоит в определении отношения масс. Нужно найти конвертировать либо с помощью словесного правила, либо с помощью формулы Погсона, разницу звездных величин в отношение освещенностей (1 балла), а потом констатировать, что эта величина есть отношение четвертых степеней масс (1 балл). Определение отношения масс оценивается в 1 балл, и еще 1 балл добавляется за определение корректных значений масс. Возможные отклонения от полученных в ответе задачи цифр – не более 0,02 массы Солнца (масса массивного компонента от 0,96 до 1,00 масс Солнца, менее массивного – от 0,60 до 0,64 масс Солнца).

ЗАДАНИЕ 3**.**

**Условие.** Согласно интерферометрическим измерениям, видимый угловой диаметр звезды Бетельгейзе (α Ориона) равен 0",048, а ее параллакс – 0",006. Определите, чему равен линейный диаметр звезды, выраженный в астрономических единицах. Ответ необходимо обосновать.

**Решение.** По определению, параллаксом называется угол, под которым видна со звезды большая полуось земной орбиты. Из условия задачи этот угол 0",006. Угловой диаметр звезды в 0",048/0",006=8 раз больше. Так как сравниваемые объекты – большая полуось земной орбиты и звезда – находятся на одном расстоянии, то отношение угловых диаметров равно отношению линейных размеров. Так как астрономическая единица равна большой полуоси земной орбиты, то линейный диаметр звезды равен 8 а.е. Ответ: 8 а.е.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Сначала необходимо использовать определение параллакса и установить, что большая полуось земной орбиты при рассмотрении со звезды Бетельгейзе видна под углом 0",006 (2 балла). Потом нужно сравнить численное значение углового размера звезды и параллакса, сделав вывод, что диаметр звезды в 8 раз больше (2 балла). Далее нужно указать связь астрономической единицы с большой полуосью земной орбиты и выразить размер звезды в астрономических единицах (2 балла). Получение численно верного ответа оценивается в 2 балла.

**Комментарий.** Задача имеет много способов решения. Любое правильное решение оценивается полным баллом.

ЗАДАНИЕ 4**.**

**Условие.** При коррекции траектории космический аппарат запустил ракетный двигатель и изменил скорость полета на 101 м/с. Оцените расход топлива в килограммах, если известно, что скорость истечения газов из сопла составляет 2500 метров в секунду, а масса космического аппарата до запуска двигателя была равна 1100 килограмм.

**Решение.** Будем считать, что выброс топлива происходит одномоментно (это можно сделать, так как изменение скорости невелико, по сравнению с величиной скорости выброса реактивной струи). Тогда, по закону сохранения импульса, имеет место равенство



Здесь *ma*, *va*– масса и скорость аппарата, *mf*, *vf* – масса и скорость выброшенного топлива. По условию задачи, *ma*=1100 кг, *va*=101 м/с, *vf*=2500 м/с. Отсюда, решая уравнение, находим,



Следовательно, аппарат израсходовал примерно 42,7 кг топлива. Ответ 42,7 кг.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Нужно отметить, что изменение скорости аппарата невелико по сравнению со скоростью истечения реактивной струи (2 балла). Поэтому изменением массы аппарата в процессе работы двигателя можно пренебречь (2 балла). Требуется использовать закон сохранения импульса применительно к системе аппарат+топливо (2 балла). Корректное определение всех данных из условия задачи и проведение вычислений оценивается в 2 балла. С учетом сделанных приближений, правильными можно считать ответы в пределах от 42 до 45 кг [cм комментарий]. Отметим, что коррекцию траекторию движения с параметрами, описанными в задаче, выполнила автоматическая межпланетная станция «Венера-4», первый аппарат совершивший спуск в атмосфере другой планеты. Во время коррекции было израсходовано больше половины бортового запаса топлива.

**Комментарий.** Полученная в решении задачи, цифра в 42,7 кг является заниженной. Дело в том, что истечение топлива в реальности происходит постепенно, и первоначальный разгон аппарата происходит с практически полной массой, включающей неизрасходованное топливо. Поэтому, 1100−*mf* – это оценка массы аппарата в процессе разгона снизу. Если предположить, что топливо вообще не расходовалось, мы получим верхнюю оценку массы аппарата, а расход составит 44,4 кг. Такое решение тоже является правильным в пределах выбранного приближения. Точный ответ задачи дается формулой Циолковского:



Таким образом, точный ответ 43,6 кг. Он лежит примерно в середине указанного интервала 42-45 кг.

ЗАДАНИЕ 5**.**

**Условие.** В спектре далекой галактики красная линия водорода Нα с лабораторной длиной волны 656,3 нм имеет видимую длину волны 662,9 нм. Какую видимую звездную величину будет иметь самая яркая звезда галактики с абсолютной звездной величиной −10? Межзвездным поглощением света пренебречь.

**Решение.** Очевидно, что длина волны в линии спектра далёкой галактики увеличилась из-за красного смещения. Так как относительное изменение длины волны не очень велико, то можно использовать формулу для нерелятивистского эффекта Доплера,



где *v* – скорость удаления галактики, *λ* – лабораторная длина волны, а Δ*λ*=*λ*набл−*λ* разница наблюдаемой и лабораторной длины волны. Подстановка цифр из условия дает *v*=0,01*с*=3000 км/с. Отсюда используя закон Хаббла, *v*=*Hd*, найдем расстояние до галактики *d*=*v*/*H*. Здесь *H* – постоянная Хаббла, равная примерно 74 км/(с∙Мпк) [допустимы оценки от 70 до 75 км/(с∙Мпк)]. Отсюда *d*=40,5 Мпк (могут получиться ответы от 40 до 42,9 Мпк). Видимую звездную величину звезды находим по формуле



где *М* – абсолютная звездная величина. Подстановка чисел приводит к ответу 23*m* (возможны цифры от 23*m* до 23*m*,2). Ответ задачи 23*m*.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов).** Во-первых, нужно определить расстояние до галактики. Запись нерелятивистской формулы для красного смещения и вычисление скорости удаления галактики оцениваются в 2 балла. Далее надо воспользоваться законом Хаббла и посчитать расстояние до галактики. Этот этап оценивается в 2 балла. Определение звездной величины самой яркой звезды галактики оценивается в 4 балла (2 – за формулу, 2 за получение верного ответа). Численно верными ответами следует считать цифры от 23*m* до 23*m*,2.

ЗАДАНИЕ 6.

**Условие.** Подлетев к неизвестной планете, космонавты обнаружили у нее небольшой спутник, движущийся по низкой круговой орбите с периодом 3 часа. Оцените среднюю плотность планеты. В какую сторону изменится оценка средней плотности, если учесть, что высота орбиты спутника не может быть равна нулю?

**Решение**. Планета является шарообразным или почти шарообразным телом. Так как орбита является низкой, то радиус круговой орбиты можно принять равным радиусу планеты. Движение по этой орбите происходит с первой космической скоростью, а период полностью определяется плотностью планеты *ρ* по формуле



Нам известно *T*=3часа=10800 секунд. Отсюда



Если учесть, что низкая орбита имеет хоть небольшую, но ненулевую высоту, то полученное значение увеличится, так как масса планеты будет распределена по меньшему объему. Ответ 1200 кг/м3. Если учесть ненулевую высоту орбиты, то плотность увеличится.

**Методика оценки решения (максимум – 8 баллов)**. Сначала нужно отметить, что планета является шарообразным телом (2 балла). Потом нужно вычислить период обращения тела по низкой орбите, и увидеть, что он зависит от плотности планеты, но не от массы и радиуса по отдельности (2 балла). Далее нужно посчитать плотность планеты, считая высоту орбиту нулевой (2 балла). Правильными считаются ответы от 1150 до 1250 кг/м3. Наконец упоминание того, что реальная плотность планеты больше оценивается в 2 балла.