

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Тульский государственный
педагогический университет им. Л.Н. Толстого
(ФГБОУ ВО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого»)**



**ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ**

**Задания муниципального этапа всероссийской олимпиады
школьников 2022/2023 учебного года
по астрономии**

Составители:

Кожинин С.П.,

Овсянников В.В.,

Нургулеев Д.А.,

Иванов К.В.

Контактный тел.: +79101652433

Тула 2022

Организация и проведение муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников 2022/23 учебного года по астрономии осуществляется в соответствии с Методическими рекомендациями по проведению школьного и муниципального этапов всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2022/2023 учебном году, утв. на заседании центральной предметно-методической комиссии всероссийской олимпиады школьников по астрономии 07.06.2022, протокол № 1, и в строгом соответствии с требованиями, представленными ниже.

Муниципальный этап проводится независимо для школьников 7 – 11 классов. В соответствии с Порядком проведения Всероссийской олимпиады, участник (в том числе моложе 7 класса) выполняет задания за более старший класс, если он выполнял задания школьного этапа за этот же класс. Он должен быть предупрежден, что в случае квалификации в список участников последующих этапов всероссийской олимпиады (регионального, заключительного) он будет выступать там в той же старшей параллели.

Обучающимся каждой возрастной параллели предлагается решить 6 задач, на выполнение которых отводится 90 минут в 7 – 8 классах и 120 минут в 9 – 11 классах.

Во время работы над заданиями участник олимпиады имеет право:

1. Пользоваться любыми своими канцелярскими принадлежностями.
2. Пользоваться собственным непрограммируемым калькулятором, а также просить наблюдателя временно предоставить ему калькулятор.
3. Обращаться с вопросами по поводу условий задач, приглашая к себе наблюдателя поднятием руки.
4. Принимать продукты питания.
5. Временно покидать аудиторию, оставляя у наблюдателя свой комплект олимпиадных заданий.

Во время работы над заданиями участнику запрещается:

1. Пользоваться мобильным телефоном (в любой его функции).
2. Пользоваться любой другой вычислительной техникой, кроме непрограммируемого калькулятора (карманным компьютером, планшетом и т.д.).
3. Пользоваться какими-либо источниками информации; вся необходимая справочная информация приведена в тексте заданий.
4. Обращаться с вопросами к кому-либо, кроме наблюдателя, членов Оргкомитета и жюри.
5. Запрещается одновременный выход из аудитории двух и более участников.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- 1) Каждому участнику олимпиады Оргкомитет должен предоставить бумагу для выполнения олимпиадных заданий: тетрадь в клетку или листы формата А4. Желательно иметь в аудитории несколько запасных ручек синего или черного цвета.
- 2) Жюри олимпиады оценивает записи, приведенные в чистовике. Черновики не проверяются.
- 3) Правильный ответ, приведенный без обоснования или полученный из неправильных рассуждений, не учитывается.
- 4) Если задача решена не полностью, то этапы ее решения оцениваются в соответствии с критериями оценивания по данной задаче, где указаны максимальные баллы за каждый элемент решения. Поощрительные баллы могут быть поставлены за наличие хотя бы ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи.
- 5) Все пометки в работе участника члены жюри делают только красными чернилами.
- 6) Баллы за промежуточные выкладки ставятся около соответствующих мест в работе (это исключает пропуск отдельных пунктов из критериев оценивания).
- 7) Итоговая оценка за задачу ставится в конце решения. Кроме того, член жюри заносит ее в таблицу на первой странице работы и ставит свою подпись под оценкой.
- 8) В случае неверного решения необходимо находить и отмечать ошибку, которая к нему привела.

7 класс

7-1. Оцените время t (в секундах и годах), за которое звездолет совершит путешествие в соседнюю галактику, расстояние до которой $S = 10^{22}$ м. Скорость звездолета $v = 3000$ км/с. $1 \text{ год} \approx 3 \cdot 10^7$ с.

7-2. Какие созвездия изображены на этих рисунках? В какое время года лучше всего наблюдать каждое из представленных созвездий в Туле?



Рис 1.



Рис 2.

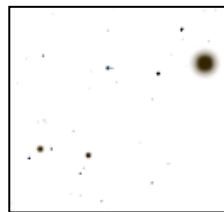


Рис 3.

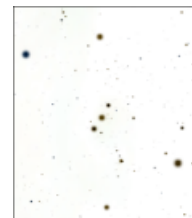


Рис 4.

7-3. В какое время суток и в какой стороне горизонта можно увидеть серп молодой Луны?

7-4. Обычный год лунного календаря состоит, как и солнечный, из 12 месяцев. Лунный месяц насчитывает 29,5 суток. Предположим, что отсчет обоих годов ведется от одной и той же выбранной даты (эпохи). В какой по порядку год лунного календаря и в какой половине этого года его отставание от солнечного календаря превысит один лунный месяц?

7-5. Фобос делает один оборот вокруг Марса за 7 часов 40 минут, а марсианские сутки примерно равны земным. В какой стороне марсианского горизонта наблюдается восход Фобоса? (Направления осевого вращения Марса и обращения Фобоса вокруг Марса совпадают.)

7-6. Реактивный авиалайнер летит со скоростью, соизмеримой с линейной скоростью поверхности Земли в средних широтах. Возможно ли, находясь на авиалайнере, дважды встретить восход? В каком географическом направлении должен лететь самолет, чтобы это произошло? Насколько продолжительным должно быть время полета?

8 класс

8-1. Солнце вращается вокруг своей оси с периодом $T = 2,2 \cdot 10^6$ с. Радиус Солнца $R = 7 \cdot 10^5$ км. Оцените скорость точек, лежащих на экваторе Солнца. Длина окружности радиуса R : $L = 2\pi R$, где $\pi = 3,14$.

8-2. Оцените массу M астероида, средняя плотность вещества которого $\rho = 3$ г/см³. Характерный размер астероида $R = 100$ км. Объем астероида: $V \approx R^3$.

8-3. Какие созвездия изображены на этих рисунках? В какое время года лучше всего наблюдать каждое из представленных созвездий в Туле?



Рис 1.



Рис 2.

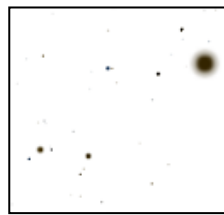


Рис 3.

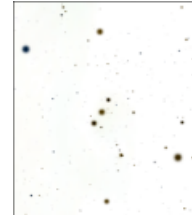


Рис 4.

8-4. Обычный год лунного календаря состоит, как и солнечный, из 12 месяцев. Лунный месяц насчитывает 29,5 суток. Предположим, что отсчет обоих годов ведется от одной и той же выбранной даты (эпохи). В какой по порядку год лунного календаря и в какой половине этого года его отставание от солнечного календаря превысит один лунный месяц?

8-5. Фобос делает один оборот вокруг Марса за 7 часов 40 минут, а марсианские сутки примерно равны земным. В какой стороне марсианского горизонта наблюдается восход Фобоса? (Направления осевого вращения Марса и обращения Фобоса вокруг Марса совпадают.)

8-6. Реактивный авиалайнер летит со скоростью, соизмеримой с линейной скоростью поверхности Земли в средних широтах. Возможно ли, находясь на авиалайнере, дважды встретить восход? В каком географическом направлении должен лететь самолет, чтобы это произошло? Насколько продолжительным должно быть время полета?

9 класс

9-1. Пульсар.

Пульсар, радиус которого $R = 15$ км, вращается вокруг своей оси с некоторым периодом T . Каким может быть этот период? Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^5$ км/с.

9-2. Нейтронная звезда.

Оцените радиус R (в см и км) нейтронной звезды, масса которой $M = 1,5 M_{\odot}$. Средняя плотность вещества звезды $\rho = 2 \cdot 10^{14}$ г/см³. Звезда имеет форму шара. Масса Солнца $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$ г.

Объем шара: $V = \frac{4\pi R^3}{3}$, где $\pi = 3,14$.

9-3. Космический аппарат в газовом облаке.

Космический аппарат (КА) попал в плотное газовое облако, характерный размер которого равен $L = 4$ а.е., а плотность $\rho = 10^{-10}$ кг/м³. Сила сопротивления газовой среды, действующей на данный КА, прямо пропорциональна плотности среды и квадрату скорости КА: $F_c = 4\rho v^2$ (численный множитель определен в системе единиц «Си»). За счет работы двигательной установки КА движется в облаке прямолинейно и равномерно с установившейся скоростью v . Сила тяги двигательной установки определяется формулой $F = \mu \cdot u$, где μ – ежесекундный расход топлива, u – скорость истечения газа из сопла двигателя. При этом масса m КА уменьшается во времени t по линейному закону $m = m_0 - \mu t$, где m_0 – начальная масса КА, которую он имел до включения двигателя. С какой скоростью КА двигался в облаке? За какое время КА пролетел облако? Сколько топлива будет израсходовано за это время? Сила тяги двигателя равна $F = 0,09$ Н. Скорость истечения газов из сопла двигателя равна $u = 30$ км/с. 1 а.е. = 150 млн.км.

9-4. Сверхмассивная черная дыра (СЧД) в центре нашей Галактики.

По некоторым оценкам масса СЧД составляет $M = 4 \cdot 10^6 M_{\odot}$. Оцените скорость v (км/с) звезды, которая движется вокруг СЧД по круговой орбите радиуса $r = 1000$ а.е. Оцените период обращения T (в годах) звезды вокруг СЧД.

Масса Солнца: $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг.

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

1 а.е. = $1,5 \cdot 10^{11}$ м; 1 год $\approx 3,2 \cdot 10^7$ с.

9-5. Горячая массивная звезда.

Оцените радиус R звезды (в единицах радиуса Солнца R_{\odot}), если ее светимость $L = 23000 L_{\odot}$, а эффективная температура ее поверхности $T = 13000$ К. Эффективная температура поверхности Солнца $T_{\odot} = 5875$ К. Оцените массу M звезды в единицах солнечной массы M_{\odot} , если для нее

соотношение «светимость – масса» имеет вид $\frac{M}{M_{\odot}} = \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right)^3$.

9-6. Блеск Марса.

Звездная величина Марса в противостоянии $m_{\text{п}} = -2,1^{\text{м}}$. Какова будет его звездная величина $m_{\text{к}}$ в квадратуре? Считать, что радиус орбиты Марса равен $r_{\text{М}} = 1,5$ а.е., и что она круговая.

10 класс

10-1. Сверхмассивная черная дыра (СЧД) в галактике NGC 3258.

Массу СЧД можно оценить по орбитальным характеристикам газовых облаков, обращающихся вокруг СЧД. Одно из облаков находится на расстоянии $r = 4 \cdot 10^6$ а.е. от СЧД и движется вокруг нее по круговой орбите со скоростью $v = 800$ км/с. Оцените массу M (в единицах солнечной массы) СЧД. За сколько лет облако совершает один полный оборот вокруг СЧД?

1 а.е. = $1,5 \cdot 10^{11}$ м; 1 год $\approx 3 \cdot 10^7$ с.

Масса Солнца: $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг.

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

10-2. «Аполлон-11».

20 июля 1969 года лунный модуль космического корабля «Аполлон-11» совершил мягкую посадку на поверхность Луны. Командный модуль корабля оставался на круговой орбите, лежащей на высоте $h = 110$ км. Вычислите орбитальную скорость v командного модуля. В течении какого времени (в минутах) с лунного модуля можно было наблюдать пролет командного модуля? Осевое вращение Луны не учитывать. Считать, что траектория командного модуля относительно лунного модуля проходит через зенит.

Данные о Луне: масса $M = 7,35 \cdot 10^{22}$ кг; радиус $R = 1730$ км.

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

10-3. Блеск Марса.

Звездная величина Марса в противостоянии $m_p = -2,1^m$. Какова будет его звездная величина m_k в квадратуре? Считать, что радиус орбиты Марса равен $r_M = 1,5$ а.е., и что она круговая.

10-4. Геостационарная орбита.

На каком расстоянии от поверхности Земли h должен располагаться спутник, чтобы, обращаясь по круговой орбите, находиться всегда над одной и той же точкой земного экватора? Экваториальный радиус Земли считать равным $R = 6378$ км, массу Земли $M = 5,97 \cdot 10^{24}$ кг. Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³·кг⁻¹·с⁻². Сидерические сутки $T = 86164$ с.

10-5. От соединения до противостояния.

В противостоянии блеск планеты увеличился на 0,85 звездной величины по сравнению с блеском в соединении. Сколько суток планета двигалась от соединения до противостояния? Все орбиты считать круговыми.

10-6. Фобос в кульминации.

Сколько времени пройдет между двумя последовательными верхними кульминациями Фобоса для наблюдателя на Марсе, если выражать их в марсианских солнечных сутках? Период обращения Марса вокруг собственной оси относительно Солнца равен $24^h 37^m$ среднесолнечного времени. Звездный период обращения Фобоса равен $7^h 39^m$.

11 класс

11-1. Сверхмассивная черная дыра в центре Галактики.

Предполагается, что в центре нашей Галактики находится сверхмассивная черная дыра (СЧД), массу которой можно вычислить по данным об эллиптических орбитах ближайших к СЧД звезд. В настоящее время определены орбиты для ближайших к центру Галактики 28 звезд. Наиболее интересной среди них является звезда S2. За время наблюдений (1992—2002) было установлено:

- период ее обращения вокруг СЧД составил $T = 15,2$ года ($1 \text{ год} = 3,2 \cdot 10^7 \text{ с}$);

- большая полуось орбиты $a = 1000 \text{ а.е.}$ ($1 \text{ а.е.} = 150 \text{ млн. км}$).

Вычислите по этим данным массу M (в кг и в единицах солнечной массы) СЧД в центре нашей Галактики.

Гравитационная постоянная: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ (Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2\text{)}$. Масса Солнца: $M_\odot = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$.

11-2. Коричневый карлик.

Данные об этой звезде следующие: радиус $R = 0,1 R_\odot$; температура поверхности $T = 1000 \text{ К}$.

1). Оцените светимость L этой звезды (в Вт и единицах солнечной светимости $L_\odot = 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$). Постоянная Стефана – Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

2). Оцените массу M этой звезды (в единицах солнечной массы $M_\odot = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$) при условии, что соотношение «светимость - масса» имеет вид

$$\frac{M}{M_\odot} = \left(\frac{L}{L_\odot} \right)^{5/2}.$$

3). Оцените температуру T_c в центре этой звезды. Молярную массу вещества звезды принять равной $\mu = 1 \text{ г/моль}$. Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$. Универсальная газовая постоянная $R^* = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

11-3. Гравитационная неустойчивость и рождение звезд.

Процесс звездообразования начинается с гравитационной неустойчивости плотных и холодных газопылевых облаков (Дж.Джинс, 1902г.). Типичными местами формирования звезд являются мелкомасштабные конденсации в межзвездных молекулярных облаках, где температура $T = 5\text{--}20 \text{ К}$ и концентрация молекулярного водорода $n = 10^3 - 10^6 \text{ см}^{-3}$.

1). Определите критический радиус $R_{кр}$ и критическую массу $M_{кр}$ газового облака, начиная с которых облако становится гравитационно-неустойчивым, т.е. будет сжиматься под действием собственного гравитационного поля. Численные оценки $R_{кр}$ и $M_{кр}$ получите при температуре межзвездной среды $T = 10 \text{ К}$ и концентрации водорода $n = 10^9 \text{ м}^{-3}$. 2). Оцените время сжатия (в годах) протозвездного облака до его превращения в звезду.

Объем облака с характерным размером R оценивается как $V \approx R^3$.

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

Универсальная газовая постоянная $R^* = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$.

Число Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Молярная масса молекулярного водорода $\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

$1 \text{ год} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ с}$.

11-4. Релятивистская звезда.

Давление в центре однородной релятивистской звезды радиуса R и массы M определяется формулой

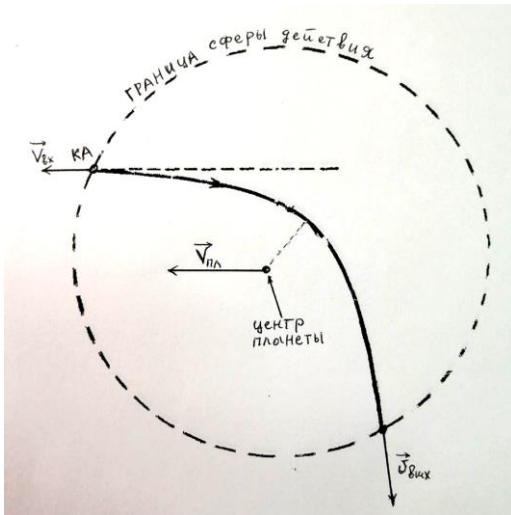
$$P_c = \rho c^2 \cdot \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{R_g}{R}}}{3\sqrt{1 - \frac{R_g}{R}} - 1}$$

где ρ – плотность вещества звезды, $R_g = \frac{2GM}{c^2}$ – ее гравитационный радиус. Полагая, что

уравнение состояния вещества в центре звезды имеет вид $P_c = \nu \rho c^2$, где ν – постоянная, определите радиус R звезды, выразив его через гравитационный радиус R_g при $\nu = 1/3$. Вычислите массу M этой звезды (в единицах солнечной массы $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ кг) при ее радиусе $R = 12$ км.

Гравитационная постоянная: $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ (Н·м²/кг²). Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

11-5. Движение КА внутри сферы действия планеты.



Космический аппарат (КА) входит в сферу действия Юпитера со скоростью $V_{\text{вх}} = 7$ км/с относительно Солнца. Скорость Юпитера относительно Солнца $V_{\text{пл}} = 13$ км/с. Вектор скорости входа параллелен вектору скорости планеты. Таким образом, сфера действия планеты догоняет КА.

1). Какой будет скорость входа $v_{\text{вх}}$ КА в сферу действия относительно планеты?

2). По какой траектории будет двигаться КА внутри сферы действия?

3). С какой скоростью $v_{\text{вых}}$ относительно Юпитера КА выйдет из сферы действия?

Радиус сферы действия Юпитера $r_d = 4,8 \cdot 10^{10}$ м.

Масса Юпитера $M = 2 \cdot 10^{27}$ кг.

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

11-6. От соединения до противостояния.

В противостоянии блеск планеты увеличился на 0,85 звездной величины по сравнению с блеском в соединении. Сколько суток планета двигалась от соединения до противостояния? Все орбиты считать круговыми.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Задания олимпиад школьников Московской области по астрономии. М.: Мос. обл. гос. ун-т, 2006.
2. Задачи Московской Астрономической олимпиады. 1997-2002. Сб. под ред. Угольников О.С., Чичмаря В.В. М.: МИОО, 2002.
3. Задачи Московской Астрономической олимпиады. 2003-2005. Сб. под ред. О.С. Угольникова, В.В. Чичмаря. М.: МИОО, 2005
4. Задачи Московской Астрономической олимпиады. 2006-2015. Сб. под ред. М.В. Кузнецова, Н.Ю. Подорванюка и О.С. Угольникова, 2015.
5. Занимательные задачи. Из кн. О. С. Угольникова «Небо начала века». М.: 2000.
6. Романов А.М. Занимательные вопросы по астрономии и не только. М.: МЦНМО, 2005.
7. Угольников О.С. Всероссийская олимпиада школьников по астрономии: содержание олимпиады и подготовка конкурсантов. М.: АПКИППРО, 2007.
8. Шевченко М.Ю., Угольников О.С. Астрономический календарь для школьников на 2022/2023 уч. год. Вып. 73. М.: АСТ, 2022.