

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ имени В.Я. Струве

2025-2026 уч. год. Муниципальный этап. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ

7-8 КЛАСС Условия, ответы, решения, критерии оценки

Авторы-составители задач А.Ю. Алексеев научный сотрудник физико-астрономического отдела ГМИК им. К.Э. Циолковского, М.С. Красин профессор кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского, Е.Н. Типикина заведующий сектором астрономических наблюдений ГМИК им. К.Э. Циолковского, под ред. М.С. Красина

1. «Солнечное затмение на Луне» (8 баллов). В 2025 году космический аппарат, находящийся на Луне, сфотографировал затмение Солнца (см. рис. 1.). Какое тело закрывает Солнце? Что представляет собой тонкое кольцо на фотографии? Какое небесное явление видно с Земли в этот момент?

Внимание! При ответах на эти вопросы необходимо давать хотя бы краткие пояснения.



Рис.1.

1. «Солнечное затмение на Луне» (8 баллов). Ответы.

1. Солнце закрывает Землю. Это единственное тело близкое к Луне нужного размера, способное затмить Солнце (4 балла).

2. Тонкое кольцо на фотографии – подсвеченная атмосфера Земли. Луну освещает атмосфера Земли, преломляющая солнечные лучи (2 балла).

3. На Земле в этот момент видно лунное затмение (2 балла).

Критерии оценки. За каждый правильный ответ без обоснования ставить 1 балл. При наличии правильного обоснования повышать оценку до максимального, указанного в конце каждого ответа. Если даны неправильные ответы, но приводятся достаточно разумные обоснования, то за решение этой задачи рекомендуется ставить 1 балл.

2. «Астрокалейдоскоп 1» (8 баллов). Каждому названию астрономического объекта сопоставьте одну из указанных характеристик. Учтите, что характеристики могут повторяться. Ответы запишите словами в виде: «*Кит* – созвездие южного неба»

Название астрономического объекта	Характеристика объекта
Кассиопея	Карликовая планета из пояса астероидов
Летне-осенний треугольник	Созвездие южного неба
Треугольник	Экваториальное созвездие
Орион	Созвездие северного неба
Циркуль	Астеризм северного неба
Вега	Спутник Сатурна
Церера	Одна из самых ярких звёзд северного неба
Титан	

2. «Астрокалейдоскоп 1» (8 баллов). Ответы.

Кассиопея – созвездие северного неба

Летне-осенний треугольник – астеризм северного неба

Треугольник – созвездие южного неба

Орион – экваториальное созвездие

Циркуль – созвездие южного неба

Вега – одна из самых ярких звёзд северного неба

Церера – карликовая планета из пояса астероидов

Титан – спутник Сатурна

Критерии оценки. За каждый правильный ответ без обоснования ставить 1 балл.

3. «Астрозагадки» (8 баллов). Прочитав отрывок из стихотворений, догадайтесь, о каком объекте идёт речь. Укажите: номер стихотворения. Название объекта. Тип объекта

Примечание: указывайте один из следующих типов объектов: звезда, планета земной группы, планета-гигант, спутник планеты, галактика (типы объектов могут повторяться)..

Образец ответа: 1. Нептун. Планета-гигант. 2. Алголь. Звезда. 3. ...

А теперь отрывки из стихотворений (и их авторы)

1. Над планетой красной кружат Каменюки Страх и Ужас. Нет горы нигде на свете Выше, чем на той планете (Олеся Емельянова)	5. Пышный газовый гигант Брат Юпитера и франт Любит он, чтоб рядом были Кольца изо льда и пыли (Олеся Емельянова).
2. Чёрный бархат неба Звёздами расшил. Светлая дорожка По небу бежит. От края и до края Стелется легко, Как будто кто-то пролил По небу молоко (Римма Алдонина).	6. Есть одна планета-сад В этом космосе холодном. Только здесь леса шумят, Птиц скликая перелётных, Лишь на ней одной цветут Ландыши в траве зелёной, И стрекозы только тут В речку смотрят удивлённо (Яков Аким)
3. Только Солнце и Луна В небе ярче, чем она (Олеся Емельянова).	7. Бродит одиноко Огненное око. Всюду, где бывает, Взглядом согревает Великан-тяжеловес Мечет молнии с небес, Полосат он, словно кошка, Жаль худеет понемножку (Олеся Емельянова)..
4. То худеет, то полнеет, Светит с неба, но не греет, И на Землю лишь одной Вечно смотрит стороной (Олеся Емельянова)..	

3. «Астростихи-загадки» (8 баллов). Ответы.

1. Марс. Планета земной группы.
2. Млечный путь (Галактика). Галактика.
3. Венера. Планета земной группы.
4. Луна. Спутник планеты.
5. Сатурн. Планета-гигант.
6. Земля. Планета земной группы.
7. Солнце. Звезда.
8. Юпитер. Планета-гигант

Критерии оценки. За каждый правильный ответ добавлять 0,5 балла. Итоговый балл округлить до целых с избытком.

4. «Выброс на Солнце» (8 баллов). На Солнце произошла вспышка и выброс вещества. Свет имеет скорость 300 тыс. км/с, а скорости частиц в выбросе от 600 до 1000 км/с. Расстояние между Солнцем и Землёй 150 млн км. Через сколько времени после произошедшей вспышки наблюдатели на Земле её увидят. Через какой минимальный промежуток времени датчики на орбите Земли зафиксируют приход частиц выброса (ответ выразите в сутках)? Движение частиц выброса можно считать прямолинейным и равномерным.

4. «Выброс на Солнце» (8 баллов). Возможное решение.

$$1. \text{Свету понадобится } t_1 = \frac{s}{v_1} = \frac{150\ 000\ 000 \text{ км}}{300\ 000 \text{ км/с}} = 500 \text{ с} = 8 \text{ мин } 20 \text{ с}$$

2. Самые быстрые частицы затратят

$$t_2 = \frac{s}{v_2} = \frac{150\ 000\ 000 \text{ км}}{1000 \text{ км/с}} = 150\ 000 \text{ с} = 41 \text{ час } 40 \text{ мин} \approx 1,74 \text{ сут}$$

Критерии оценки. За каждый правильный ответ ставить 4 балла. Если допущена вычислительная ошибка, то оценку снизить на 1 балл.

5. «Две звезды» (8 баллов). Две звезды образуют двойную систему. Изучив характеристики звёзд указанные в таблице, дайте обоснованные ответы на следующие вопросы.

- А. Какая из звёзд при наблюдении глазом будет выглядеть ярче?
 Б. У какой звезды больше средняя плотность и во сколько раз?
 В. Какая из звезд при наблюдениях глазом имеет голубоватый оттенок?

Примечание: объём шара можно вычислить по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

	Видимая звёздная величина	Температура	Радиус, в радиусах Солнца	Масса, в массах Солнца
Звезда А	3,4 ^м	4300	59	5,2
Звезда В	5,1 ^м	13200	2,6	3,7

5. «Две звезды» (8 баллов). **Ответы:** звезда А ярче, звезда В плотнее, $\frac{\rho_B}{\rho_A} = 8300$, звезда В имеет более голубоватый оттенок. **Пояснения:** Ярче выглядит звезда, у которой меньше звёздная величина. Плотность вычисляем по формуле $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$. Отношение плотностей звёзд равно

$$\frac{\rho_B}{\rho_A} = \frac{M_B}{M_A} \cdot \left(\frac{R_A}{R_B}\right)^3 = \frac{3.7}{5.2} \cdot \left(\frac{59}{2.6}\right)^3 \approx 8300. \text{ Голубоватый цвет имеют звезды с высокими температурами.}$$

Критерии оценки. За каждый правильный ответ без обоснования ставить 1 балл. При наличии обоснования ответов на вопросы А. и Б. добавить по 2 балла. За обоснование ответа на вопрос В. добавить 1 балл. Если в расчётах допущена вычислительная ошибка, то оценку снизить на 1 балл.

6. «Параллакс с Марса» (8 баллов). **Вопрос 1.** Какая из планет ближе к Солнцу, Земля или Марс?. Величина годичного параллакса (параллактический угол) звезды Альфа Центавра равен 0,75", если этот угол измерять с Земли. В настоящее время на Марсе находится марсоход, оборудованный телескопом с разрешением 1". **Вопрос 2.** Сможет ли марсоход заметить в этот телескоп годичный параллакс звезды Альфа Центавра? Ответ обоснуйте. *Справочные данные, которые могут пригодиться для расчётов:* экваториальный радиус Марса составляет 0,53 экваториального радиуса Земли, радиус орбиты Марса примерно 1,52 астрономической единицы, период обращения Марса вокруг Солнца равен 1,88 земных лет.

6. «Параллакс с Марса» (8 баллов). **Ответ на вопрос 1.** Ближе к Солнцу расположена Земля. **Ответ на вопрос 2.** Да. **Возможное обоснование.** 1. Параллактические углы малы, поэтому синус параллактического угла можно считать прямо пропорциональным величине параллактического угла (равным величине угла, если угол выражен в радианах). И этот угол тем больше, чем больше базис. Базисом при измерении параллактических углов методом годичного параллакса выступает радиус орбиты планеты.

2. Поскольку радиус орбиты Марса больше радиуса земной орбиты в 1,52 раза, поэтому и параллактический угол звезды Альфа Центавра оказывается больше в 1,52 раза. Следовательно, на Марсе параллакс будет равен $1,52 \cdot 0,75'' = 1,14''$.

3. Эта величина больше углового разрешения телескопа, поэтому марсоход заметит параллактическое смещение Альфа Центавра.

Критерии оценки. За правильный ответ на вопросы 1 и 2 ставить по 1 баллу.

За обоснованное утверждение, что параллактический угол пропорционален радиусу орбиты планеты, с которой проводится наблюдение, добавить 2 балла (обоснование может содержать рисунки и формулы для вычисления параллактического угла, но можно ограничиться ответом, по типу приведённого здесь). За проведение правильных расчётов добавить 2 балла.

За сравнение параллакса звезды с угловым разрешением телескопа добавить 1 балл.

За вывод, что если параллакс (параллактический угол) звезды будет больше углового разрешения телескопа, то параллакс можно будет измерить добавить 1 балл.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

2025-2026 уч. год. Муниципальный этап. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ

9 КЛАСС Условия, ответы, решения, критерии оценки

Авторы-составители задач А.Ю. Алексеев научный сотрудник физико-астрономического отдела ГМИК им. К.Э. Циолковского, М.С. Красин профессор кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского, Е.Н. Типикина заведующий сектором астрономических наблюдений ГМИК им. К.Э. Циолковского, под ред. М.С. Красина

1. «Суперлуние» (8 баллов). Во время полнолуния 17 октября 2024 года Луна находилась в перигеее – самом близком к Земле положении на орбите, на расстоянии 350802 км от поверхности Земли.

Вопрос 1. Как называется наиболее удалённая от Земли точка орбиты Луны?

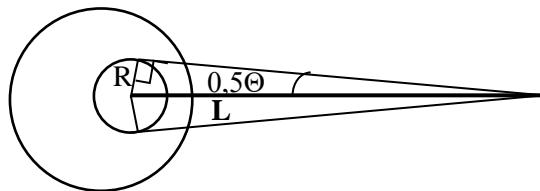
Вопрос 2. Предположим, что у Вас имелся телескоп с диаметром объектива $D = 10$ см. Лунные кратеры какого минимального размера Вы могли бы рассмотреть в эту ночь, учитывая, что разрешающая способность телескопа в угловых секундах для видимого света определяется по формуле $\theta'' = \frac{138''}{D}$, где величина диаметра телескопа приводится в миллиметрах? Учтите, что разрешающая способность телескопа – это минимальное угловое расстояние между двумя точками, начиная с которого они сливаются и перестают быть различимыми. Ответ на второй вопрос обоснуйте, желательно с рисунком, поясняющим геометрические соотношения.

1. «Суперлуние» (8 баллов). Ответ на вопрос 1: Апогей.

Ответ на вопрос 2: 2,35 км. **Возможное обоснование:**

Разрешающая способность телескопа равна $\theta'' = \frac{138''}{100} = 1,38''$. Опираясь на рисунок получаем, что $R = L \cdot \sin(0,5\theta)$. Минимальный размер различаемого в телескоп кратера равен двум радиусам. Тогда минимальный размер различаемых деталей на Луне вычисляем по формуле

$$D = 2L \cdot \sin(0,5 \cdot \theta) = 2 \cdot 350802 \cdot \sin(1,38'') = 2 \cdot 350802 \frac{1,38}{2 \cdot 206265} = 2,35 \text{ км}$$



Критерии оценки. Правильный ответ на вопрос 1 оценивать в 3 балла. Правильный ответ на вопрос 2 оценивать в 1 балл. За правильный расчёт разрешающей способности телескопа ставить 2 балла. За рисунок поясняющий формулу для расчёта размера кратера по расстоянию до него и углу ставить 1 балл. За формулу для расчёта размера кратера по расстоянию до него и углу добавить 1 балл. Если величина вычисленного размера кратера попадает в интервал значений от 2 до 3 км, то ответ считать правильным. За вычислительную ошибку оценку снизить на 1 балл.

2.«Полёт к Альфа Центавра» (8 баллов). Современные ионные двигатели способны работать многие годы подряд с постоянной тягой в 20 Н. Автоматическая станция, имеющая массу 1 тонну, вылетела в сторону ближайшей звёздной системы Альфа Центавра, находящейся на расстоянии приблизительно 4 световых года. **Вопрос 1.** Чему приблизительно равно расстояние до системы Альфа Центавра в километрах. **Вопрос 2.** Во сколько раз сила тяги ионного двигателя будет больше силы притяжения к Солнцу в тот момент, когда станция долетит до орбиты Юпитера, удалённого на расстояние 5,2 а.е. от Солнца. Можно считать, что масса Солнца равна $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, гравитационная постоянная $6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$, астрономическая единица $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$, скорость света $300\ 000 \text{ км/с}$.

Вопрос 3. Сколько времени (в годах) станция будет лететь к системе Альфа Центавра, если считать, что половину пути она будет двигаться прямолинейно равноускоренно, а вторую половину – прямолинейно равнозамедленно (равноускоренно тормозить). Все ответы подкрепите расчётами. Ответы рекомендуется округлять до двух значащих цифр

2.«Полёт к Альфа Центавра» (8 баллов). Ответ на вопрос 1. $38 \cdot 10^{15} \text{ м}$. **Пояснение:** скорость света умножаем на продолжительность года в секундах, и на 4:

$$300\ 000 \text{ км/с} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} \cdot 4 = 37\ 869\ 120\ 000\ 000 \text{ км} = 38\ 000\ 000\ 000\ 000 \text{ км}.$$

Ответ на вопрос 2. Приблизительно в 90 раз. **Пояснение.** Силу гравитационного взаимодействия станции и Солнца вычисляем по формуле закона всемирного тяготения

$F_1 = G \frac{m \cdot M}{r^2}$ Подставляем числа $F_1 = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \frac{10^3 kg \cdot 2 \cdot 10^{30} kg}{(5,2 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} m)^2} = 0,22 N$ Видим, что сила тяги двигателя станции приблизительно в 90 раз больше силы притяжения станции к Солнцу.

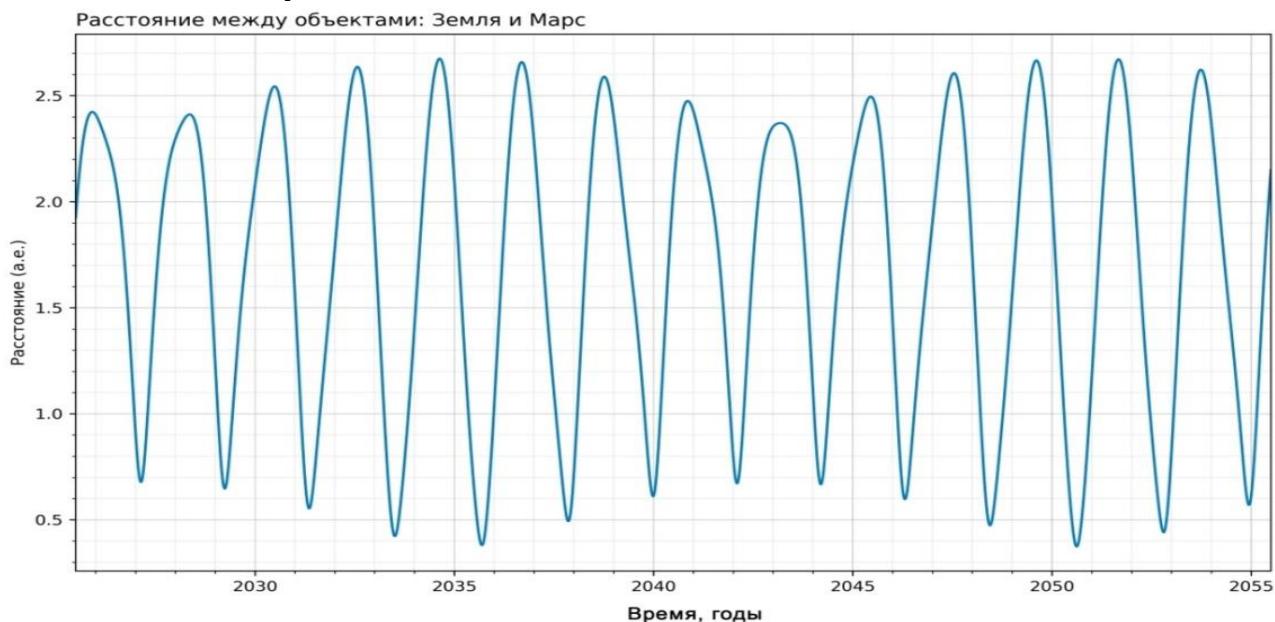
Ответ на вопрос 3. Приблизительно в 87 лет. **Пояснение:** При равноускоренном движении из состояния покоя перемещение можно вычислить по формуле $l = \frac{a \cdot t_1^2}{2}$. С учётом второго закона

Ньютона можно записать $l = \frac{F \cdot t_1^2}{2m}$. Откуда $t_1 = \sqrt{\frac{2l \cdot m}{F}}$. Подставим числовые данные, учитывая, что разгоняющаяся станция будет только половину расстояния между Солнцем и системой Альфа Центавра $t_1 = \sqrt{\frac{38 \cdot 10^{15} \cdot 10^3}{20}} c = 1,38 \cdot 10^9 c$. Столько же времени будет длиться торможение. Поэтому полёт будет продолжаться $2t_1 = 2,76 \cdot 10^9 c = 87$ лет

Критерии оценки: Правильный ответ без обоснования на первый вопрос оценивать в 1 балл. При наличии обоснования добавить 1 балл. Правильные ответы на вопросы 2 и 3 при отсутствии пояснений-обоснований не оценивать. Запись формулы закона всемирного тяготения оценивать в 1 балл. Запись формулы взаимосвязи перемещения, ускорения и времени оценивать в 1 балл. Запись формулы второго закона Ньютона оценивать в 1 балл. Получение правильного ответа на вопрос 2 оценивать в 1 балл. Получение правильного ответа на вопрос 3 оценивать в 2 балла. За вычислительную ошибку оценку снижать на 1 балл. Отклонение числового результата от приведённого в решении менее чем на 10 % не считать ошибкой.

3. «Марс далёкий и близкий» (8 баллов). Перед вами график, показывающий изменение расстояния (в астрономических единицах) между Землёй и Марсом со временем. **Вопрос 1:** Определите ближайший год, в котором будет наблюдаться минимальное расстояние между Землёй и Марсом.

Вопрос 2. Через сколько лет повторится это событие? **Вопрос 3.** Определите ближайший год, когда расстояние между телами будет наибольшим. **Вопрос 4.** Во сколько раз угловой диаметр Марса больше в момент наибольшего сближения с Землёй по сравнению с его угловым диаметром в момент наибольшего удаления?

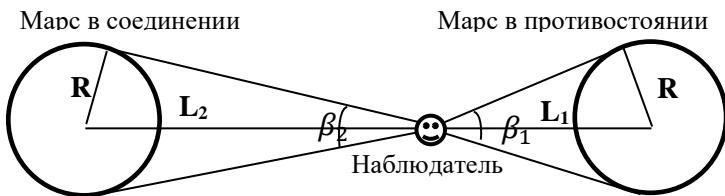


3. «Марс далёкий и близкий» (8 баллов). **Ответ на вопрос 1:** Ближайшее наибольшее сближение Земли и Марса произойдёт в 2035 году. **Ответ на вопрос 2:** Следующий раз минимальное расстояние между планетами будет в 2050 году, т.е. через 15 лет. **Ответ на вопрос 3:** Ближайшее наибольшее удаление планет будет в 2034 году. **Ответ на вопрос 4:** Отношение угловых диаметров Марса в момент наибольшего сближения с Землёй и в момент его наибольшего удаления от Земли равно приблизительно 7. **Возможное пояснение:** Из рисунка видно, что радиус Марса в момент противостояния можно вычислить по формуле

$R = L_1 \cdot \sin \frac{\beta_1}{2}$, а в соединении $R = L_2 \cdot \sin \frac{\beta_2}{2}$. Радиус Марса не менялся, поэтому $\frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2} = \frac{L_2}{L_1}$. Углы малы, значит отношение синусов заменяется отношением углов (отношением угловых размеров)

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{2,7 \text{ а.е.}}{0,4 \text{ а.е.}} \approx 7.$$

Критерии оценки. За каждый правильный ответ на вопросы 1-3 ставить 2 балла. За правильный ответ на четвёртый вопрос без обоснования баллы не добавлять. Если при обосновании ответа на вопрос 4 не используются формулы, но приводятся разумные логические выводы, то ставить 1 балл. Если приводятся расчёты, то ставить 2 балла. За вычислительную ошибку оценку снижать на 1 балл.



4. «Больше-меньше» (8 баллов). Сравните характеристики астрономических объектов методом больше-меньше.

1. Средняя плотность Сатурна и средняя плотность Нептуна.
2. Масса Луны и суммарная масса всех объектов главного пояса астероидов.
3. Температура освещённой поверхности Луны и температура теневой поверхности Меркурия.
4. Наименьшее расстояние между Нептуном и Солнцем и наименьшее расстояние между Плутоном и Солнцем.
5. Высота горы Эверест на Земле и высота горы Олимп на Марсе.
6. Вулканическая активность на Земле и вулканическая активность на спутнике Юпитера Ио.
7. Высота Солнца в полдень 22 июня при его наблюдении на земном экваторе и его наблюдении на северном тропике.
8. Расстояние в 3 парсека или расстояние в 6 световых лет

Ответы запишите предложениями, чтобы можно было однозначно понять, что (по Вашему мнению) больше или меньше.

4. «Больше-меньше» (8 баллов). Ответы: 1. Средняя плотность Сатурна меньше средней плотности Нептуна. 2. Масса Луны больше суммарной массы всех объектов главного пояса астероидов. 3. Температура освещённой поверхности Луны больше температуры теневой поверхности Меркурия. 4. Наименьшее расстояние между Нептуном и Солнцем больше наименьшего расстояния между Плутоном и Солнцем. 5. Высота горы Эверест на Земле меньше высоты горы Олимп на Марсе. 6. Вулканическая активность на Земле меньше вулканической активности на спутнике Юпитера Ио. 7. Высота Солнца в полдень 22 июня при его наблюдении на земном экваторе меньше чем при его наблюдении на северном тропике. 8. Расстояние в 3 парсека больше расстояния в 6 световых лет.

Критерии оценки: За каждый правильный ответ ставить 1 балл. Если даны на один и тот же вопрос два противоположных ответа, то считать, что ответ неправильный.

5. «Каньон на Марсе» (8 баллов). Космонавты наконец-то достигли «красной планеты» и начали её исследование. Геологи из состава экспедиции собирали образцы грунта около края каньона. Случайно один из исследователей задел ногой небольшой камушек. Камень полетел вниз и достиг дна каньона через 33 секунды. Определите глубину каньона, если ускорение свободного падения на Марсе в 2,7 раза меньше, чем на Земле, а марсианская атмосфера очень сильно разрежена.

5. «Каньон на Марсе» (8 баллов). Ответ: 1960 м, если участник принимает ускорение свободного падения на Земле принимает равным 9,8 и округляет до десятых ускорение свободного падания на Марсе, или 1976 м (правильнее округлить до 1980 м), если без промежуточных округлений величин; 2016 м, если ускорение свободного падения на Земле принимает равным 10.

Решение. Т.к. атмосфера разрежена, то будем считать, что сопротивления «воздуха» нет и падение камня является свободным падением. У камня отсутствует первоначальная вертикальная составляющая скорости, его движение по вертикальной оси является равноускоренным, следовательно, для глубины каньона можно записать $h = \frac{g_{\text{Марса}} \cdot t^2}{2}$.

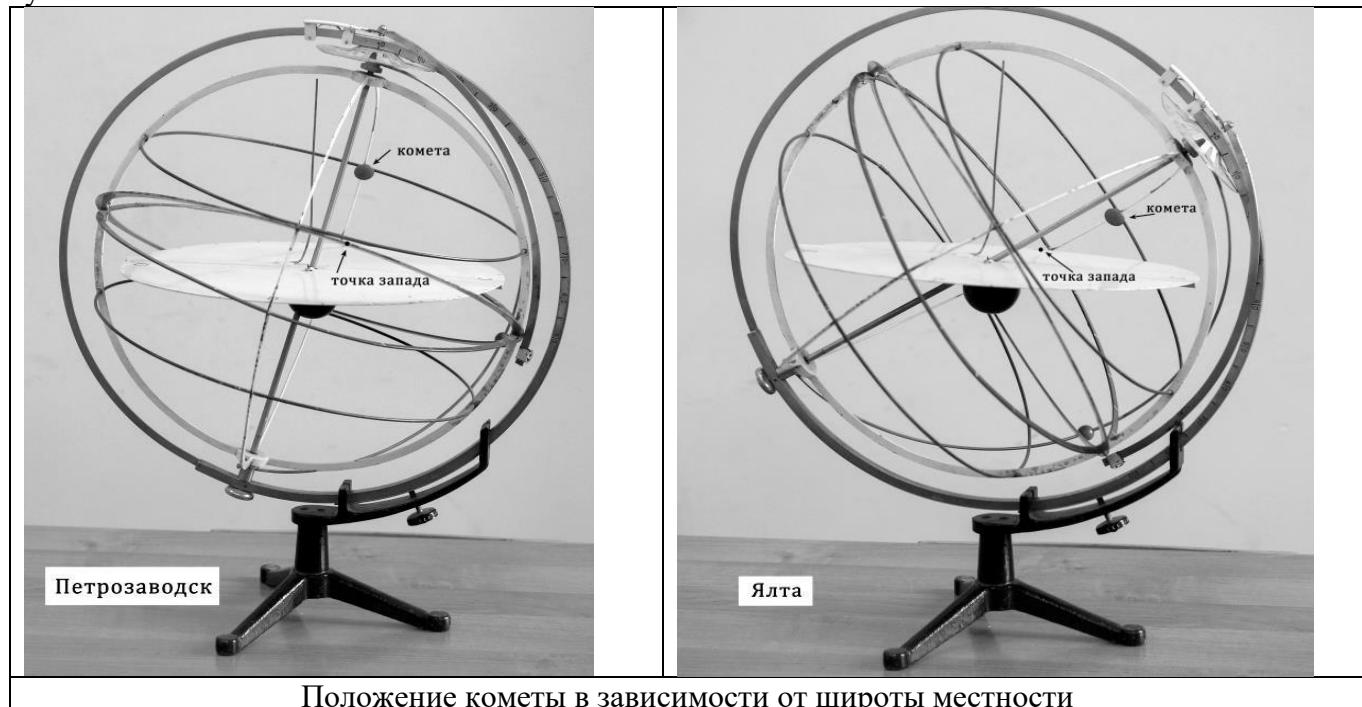
Ускорение свободного падения на Марсе равно $\frac{9,8 \text{ м/с}^2}{2,7} = 3,6 \text{ м/с}^2$.

$$h = \frac{g_{\text{марса}} \cdot t^2}{2} = \frac{3,6 \cdot 33^2}{2} (\text{м}) = 1960 (\text{м})$$

Критерии оценки. За выбор модели равноускоренного движения ставить 1 балл. За правильное обоснование такого вывода добавить 2 балла. За вычисление ускорения свободного падения на Марсе ставить 2 балла. За применение формулы для расчёта глубины каньона ставить 1 балл. За вычисление глубины каньона ставить 2 балла. Если итоговый ответ записан с пятью и более значащими цифрами, то оценку снизить на 1 балл.

6. «Видимость кометы» (8 баллов). Друзья Петя и Миша - любители астрофотографии. Петя живет в Петрозаводске (62° с.ш. 34° в.д.), Миша – в Ялте ($44,5^\circ$ с.ш. 34° в.д.). Ребята решили сфотографировать комету C/2025 A6 (Lemmon). Вечером 21 октября 2025 года они одновременно направили свои одинаковые фотоаппараты на небо и сделали фотографии кометы. У Пети на снимке комета имела высоту около 27° над горизонтом строго на западе. **Вопрос 1:** Что такое комета? **Вопрос 2:** Выше или ниже над горизонтом получилась комета на фотографии Миши? **Вопрос 3:** На чьих фотографиях комета будет выглядеть ярче? Ответы поясните рассуждениями. Параметры съёмки и погодные условия были одинаковыми.

6. «Видимость кометы» (8 баллов). Возможный ответ на вопрос 1. Комета это относительно небольшое небесное тело, с поверхности которого при приближении к Солнцу начинают испаряться замёрзшие вещества, испарившиеся частицы начинают отражать солнечный свет и поэтому комета становится видимой. **Ответ на вопрос 2.** У Миши комета получилась ниже. **Ответ на вопрос 3.** У Пети комета получилась ярче. **Возможное обоснование.** 1. Обоснование не нужно.



Положение кометы в зависимости от широты местности

2. Оба города располагаются на одном меридиане, но Ялта находится южнее Петрозаводска на $15,5^\circ$ (т.к. $60^\circ - 44,5^\circ$). Чем южнее место наблюдения, тем меньше высота полюса мира и больше наклон оси мира. Увеличение наклона оси мира приводит к тому, что светила, наблюдаемые в северных широтах на западе, наблюдаются на северо-западе и ниже к горизонту (см. рисунок). 3. Чем выше объект над горизонтом, тем меньший слой атмосферы приходиться преодолевать световым лучам. Следовательно, они будут испытывать меньшее рассеяние.

Критерии оценки. За правильный ответ на вопрос 1 ставить 2 балла (не притираться к определению участника, важно убедиться, что он понимает, о чём идёт речь). Правильные ответы на вопросы 2 и 3 оценивать по 1 баллу. За наличие обоснования добавлять по 2 балла за каждое обоснование. Если обоснование кажется недостаточно аргументированным, то добавлять 1 балл.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

2025-2026 уч. год. Муниципальный этап. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ

10 КЛАСС Условия, ответы, решения, критерии оценки

Авторы-составители задач А.Ю. Алексеев научный сотрудник физико-астрономического отдела ГМИК им. К.Э. Циолковского, М.С. Красин профессор кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского, Е.Н. Типикина заведующий сектором астрономических наблюдений ГМИК им. К.Э. Циолковского, под ред. М.С. Красина

1. «Подвижная карта звёздного неба 10» (8 баллов). Воспользовавшись подвижной картой звёздного неба, ответьте на следующие вопросы. **Вопрос 1.** Какая звезда будет наблюдаваться вблизи нижней кульминации в Калуге 10 декабря в 1-00 ночи (достаточно указать только одну звезду, но надо обязательно пояснить, как Вы это определили по подвижной карте). **Вопрос 2.** Определите разность между моментами верхних кульминаций звёзд А и Б. Какая из этих звёзд будет раньше кульминировать? (Обязательно поясните, как Вы получили необходимые сведения с помощью подвижной карты).

1. «Подвижная карта звёздного неба 10» (8 баллов). **Ответ на вопрос 1.** а Лиры (Вега). **Ответ на вопрос 2.** б Кита кульминирует раньше б Ориона на $2ч\ 53мин \pm 20мин$.

Пояснение к ответу на вопрос 1. Совмещаем отметку 1 ч на накладном круге с отметкой 10 декабря на основной части. Учитываем, что в нижней кульминации будут звёзды, оказавшиеся на линии небесного меридиана, соединяющего полюс мира с точкой севера. Вблизи этой линии в данном месте оказывается звезда Вега (а Лиры). **Пояснение к ответу на вопрос 2.** Прямое восхождение звезды б Ориона равно $5ч\ 32мин$, а звезды б Кита равно $2ч\ 39мин$. Прямое восхождение меньше у звезды б Кита, поэтому эта звезда раньше кульминирует. Разность между прямыми восхождениями звёзд равна $2ч\ 53мин$, с таким интервалом по звёздному времени и кульминируют звёзды. Но поскольку этот интервал мал, то можно считать, что и по среднему солнечному времени интервал между кульминациями звёзд составляет $2ч\ 53мин$. За такой малый интервал времени разность между звёздным и солнечным временем незначительная, поэтому можно считать, что указанные звёзды кульминируют с интервалом $2ч\ 53мин$. *Внимание, с учётом погрешности измерений по карте допускается ошибка в определении прямого восхождения не более 10 мин. Поэтому погрешность разности равна 20 мин.*

Критерии оценки. За **ответ на вопрос 1.** Указание на звезду а Лиры (Вега) оценить в 1 балл. За объяснение, как это было установлено добавить 2 балла.

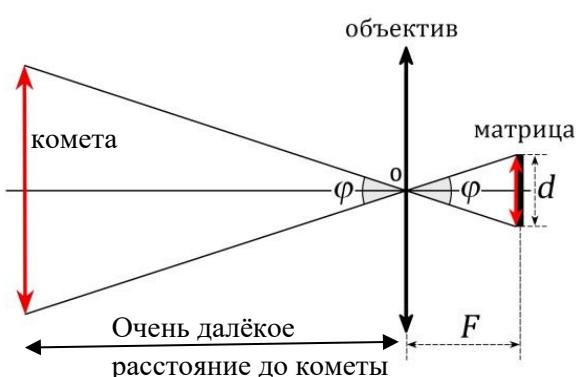
Если указана одна из звёзд созвездия Стрела, то за этот ответ с обоснованием ставить 1 балл, т.к. в условии сказано, что **будет наблюдаваться**, а эти звёзды кульминируют под горизонтом.

За ответ на вопрос 2. Определены прямые восхождения звёзд б Ориона и звезды б Кита с погрешностью ± 10 мин и дано пояснение как это было установлено с помощью подвижной карты, то ставить по 1 баллу за каждую звезду. Если обоснования нет, то баллы не ставить.

Если указано, что раньше кульминирует б Кита ставить 1 балл, если указано, на сколько раньше, добавить 1 балл. Если дано обоснование, почему раньше (достаточно указания, что звёзды с меньшим прямым восхождением кульминируют раньше) то добавить 1 балл.

Если ошибка в определении прямого восхождения звезды (различие между значением, найденным участником, и значением, указанным в образце, превышает 10 мин, то баллы за нахождение прямого восхождения этой звезды не ставить, но за дальнейшие расчёты оценку не снижать.

2. «Фотоаппарат» (8 баллов). На небе наблюдается красавая комета с хвостом, имеющим угловую длину 10° . Вы очень хотите сфотографировать комету так, чтобы её изображение получилось как можно более крупным, но при этом хвост кометы полностью поместился на снимке. У Вас есть фотоаппарат с размером матрицы 22×15 мм и набор объективов с фокусными расстояниями 80 мм, 200 мм и 500 мм. Какой из этих объективов Вам следует выбрать, чтобы реализовать свою задумку с первой попытки? Напоминаем, что изображение удалённых объектов получается почти в фокальной плоскости объектива.



2. «Фотоаппарат» (8 баллов). Ответ 80 мм. Обоснование способ 1. Из рисунка видно, что чем больше фокусное расстояние F объектива, тем больше получается размер изображения. Но размер изображения кометы не должен выходить за пределы размеров матрицы. Самую большую протяжённость на прямоугольнике матрицы имеет его диагональ. Поэтому изображение кометы можно расположить по диагонали кадра.

Длина диагонали матрицы равна $d = \sqrt{22^2 + 15^2} \text{мм} = 26,6 \text{мм}$.

Найдем, при каком максимальном фокусном расстоянии изображение кометы полностью влезет по диагонали матрицы. Из рисунка следует, что

$$\tg \frac{\varphi}{2} = \frac{d/2}{F} \Rightarrow F = \frac{d}{2 \cdot \tg \frac{\varphi}{2}} \quad F = \frac{26,6 \text{мм}}{2 \cdot \tg \frac{10^\circ}{2}} = 152 \text{мм}$$

Значит, нужно брать объектив с фокусным расстоянием не больше 152 мм, т.е. 80 мм.

Примечание: решение задачи можно выполнить «в обратную сторону», т.е. сначала рассчитать размеры кометы на матрице при использовании указанных объективов, а затем понять, что подходит только объектив с фокусным расстоянием 80 мм.

Обоснование способ 2. Из рисунка видно, что размер d кометы на матрице можно найти по формуле $\frac{d}{2} = F \cdot \tg \frac{\varphi}{2}$

В зависимости от размера фокуса объектива размер изображения кометы может получиться

$$d_1 = 2 \cdot 80 \text{мм} \cdot \tg \frac{10^\circ}{2} = 14 \text{мм} \quad d_2 = 2 \cdot 200 \text{мм} \cdot \tg \frac{10^\circ}{2} = 35 \text{мм}$$

$$d_3 = 2 \cdot 500 \text{мм} \cdot \tg \frac{10^\circ}{2} = 87,5 \text{мм}$$

Наибольший линейный размер, который может поместиться на матрице это размер длины её диагонали, равный $l = \sqrt{22^2 + 15^2} \text{мм} = 26,6 \text{мм}$.

Сравнивая этот размер с возможным размером изображения кометы, приходим к выводу, что нам подходит только объектив с фокусным расстоянием 80 мм

Критерии оценки. За утверждение, что размер изображения кометы не должен выходить за пределы матрицы, в том числе учёт этого соображения в скрытом виде, ставить 2 балла.

За идею о возможности расположения изображения кометы вдоль диагонали матрицы ставить 1 балл. За вычисление размера диагонали ставить 1 балл.

За формулу взаимосвязи фокусного расстояния объектива, углового размера кометы и размера изображения кометы ставить 2 балла. За вычисление максимально возможного фокусного расстояния (способ 1) или вычисление размеров изображения комет при использовании различных объективов, указанных в условиях задачи, ставить 1 балл. За правильный ответ ставить 1 балл.

Комментарии. Если рассуждения проводились не для диагонали, а для наиболее длинной стороны матрицы, то за идею о выборе наибольшей длины ставить 1 балл, Но тогда максимальная оценка за задачу должна быть 7 баллов, т.к. выбирается не самый оптимальный вариант и поэтому не ставится 1 балл за вычисление длины диагонали.

3. «Две звезды» 10» (8 баллов). Две звезды образуют двойную систему. Орбиты звёзд круговые.

Расстояние между звёздами 4500 а.е. Изучив характеристики звёзд, указанные в таблице, дайте обоснованные ответы на следующие вопросы.

А. Какая из звёзд при наблюдении глазом будет выглядеть ярче?

Б. Какая из звезд при наблюдениях глазом имеет голубоватый оттенок?

В. У какой звезды больше средняя плотность и во сколько раз?

Г. У какой звезды больше светимость и во сколько раз?

Д. Считая орбиты звёзд круговыми, определите радиус орбиты звезды А.

	Видимая звёздная величина	Температура, К	Радиус, в радиусах Солнца	Масса, в массах Солнца
Звезда А	3,4 ^m	4300	59	5,2
Звезда В	5,1 ^m	13200	2,6	3,7

3. «Две звезды 10» (8 баллов). Ответы: звезда А ярче, звезда В плотнее, $\frac{\rho_B}{\rho_A} = 8300$, звезда В

имеет более голубоватый оттенок, звезда А имеет большую светимость, отношение светимостей

равно $\frac{L_A}{L_B} = 5,8$, радиус орбиты звезды А равен 1900 а.е. **Пояснения и обоснования:** Ярче выглядит звезда, у которой меньше звёздная величина. Плотность вычисляем по формуле $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$. Отношение плотностей звёзд равно $\frac{\rho_B}{\rho_A} = \frac{M_B}{M_A} \cdot \left(\frac{R_A}{R_B}\right)^3 = \frac{3,7}{5,2} \cdot \left(\frac{59}{2,6}\right)^3 \approx 8300$. Голубоватый цвет имеют звезды с высокими температурами.

Светимость звезды вычисляют по формуле $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$, где σ - постоянная Стефана-Больцмана. Поэтому отношение светимостей равно

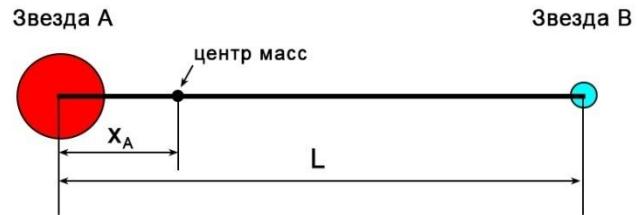
$$\frac{L_A}{L_B} = \left(\frac{R_A}{R_B}\right)^2 \cdot \left(\frac{T_A}{T_B}\right)^4 = \left(\frac{59}{2,6}\right)^2 \cdot \left(\frac{4300}{13200}\right)^4 \approx 5,8$$

Обе звезды обращаются вокруг общего центра масс. Его положение находим по формуле координаты центра масс (см. рис.).

$$x_{\text{цм}} = \frac{x_A \cdot m_A + x_B \cdot m_B}{m_A + m_B}$$

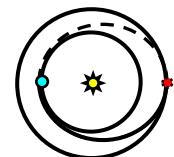
$$x_{\text{цм}} = \frac{0 \cdot m_A + L \cdot m_B}{m_A + m_B}$$

$$x_{\text{цм}} = \frac{4500 \text{ а.е.} \cdot 3,7}{5,2 + 3,7} = 1870 \text{ а.е.} = 1900 \text{ а.е.}$$



Критерии оценки. За правильные ответы без обоснования баллы не ставить. За правильные обоснованные ответы на вопросы ставить по 1 баллу. За применение закона Стефана-Больцмана добавить 1 балл. За применение формулы центра масс системы точечных тел добавить 1 балл. За вывод, что радиус орбиты можно найти через формулу координаты центра масс добавить 1 балл. Если в расчётах допущена вычислительная ошибка, то оценку снизить на 1 балл.

4. «По орбите Цандера» (8 баллов). Жители некоторой экзопланеты (планеты, обращающейся не вокруг Солнца, а вокруг другой звезды) собрались отправить космический зонд на соседнюю планету, обращающуюся вокруг этой же звезды. К моменту принятия решения они знали все законы, которые знаем и мы, земляне. При этом они установили, что период обращения их планеты вокруг звезды равен 400 земных суток, измерили параллакс своей звезды, который всегда остаётся постоянным, выяснили, что параллакс второй планеты, когда она оказывается в противостоянии, периодически изменяется в интервале от $\frac{1}{6}$ параллакса звезды, до 2 параллаксов звезды. Определите минимальное время, за которое космический зонд сможет долететь до второй планеты, если он будет лететь по траектории Цандера (Цандера-Гомона). Для справок: траектория Цандера представляет собой половину эллипса, касающегося орбит планет, между которыми осуществляется перелёт (см. рис). Эта орбита является наиболее экономичной по расходу топлива.



4. «По орбите Цандера» (8 баллов). Ответ. приблизительно 280 сут или 275 сут (в зависимости от погрешности округления). **Пояснение.** Поскольку параллакс звезды не меняется, значит первая планета (с которой стартует зонд) движется по круговой орбите. Поскольку вторая планета может находиться в противостоянии, то она располагается дальше от звезды, чем первая. Поскольку параллакс второй планеты в противостоянии изменяется, то орбита этой планеты эллиптическая. Значит для старта зонда следует выбрать такой момент, что когда он достигнет орбиты второй планеты, эта планета будет находиться на самом маленьком удалении от звезды, т.е. в periцентре своей орбиты. Тогда большая полуось эллиптической орбиты Цандера будет равна полусумме радиуса орбиты первой планеты и periцентрического расстояния второй планеты. Из третьего закона Кеплера можно записать $\left(\frac{T_{\text{ц}}}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{0,5(r_1+r_{\text{ц}})}{r_1}\right)^3$,

откуда, учитывая, что время перелёта равно половине периода обращения по орбите Цандера, получаем

$\tau = 0,5T_1 \sqrt{\left(\frac{1}{2} \left(1 + \frac{r_n}{r_1}\right)\right)^3}$. Учтём, взаимосвязь параллактических углов с радиусом планеты наблюдателя и расстоянием до исследуемого объекта отражает формула $r = \frac{R}{\sin p} = \frac{R}{p}$, (2)

учитывающая малость углов. Т.е. чем больше параллакс объекта, тем он ближе. Поэтому для определенияperiцентрического расстояния второй планеты выбираем параллакс, который больше параллакса звезды в 2 раза $p_n = 2p_{зв}$. Учитывая, что в противостоянии расстояние до второй планеты равно разности еёperiцентрического расстояния и радиуса орбиты первой планеты, получаем соотношение $\frac{p_{зв}}{p_n} = \frac{r_n - r_1}{r_1}$ (3)

Из него получаем $1 + \frac{r_n}{r_1} = 2 + \frac{p_{зв}}{p_n}$. Следовательно, время перелёта можно рассчитать по формуле

$$\tau = 0,5T_n = 0,5T_1 \left(1 + \frac{p_{зв}}{2p_n}\right) \sqrt{\left(1 + \frac{p_{зв}}{2p_n}\right)} \quad (4)$$

Подставив числовые данные получаем $\tau \approx 280$ сут или 275 сут, если с промежуточными округлениями.

Критерии оценки. За утверждение, что орбита первой планеты круговая ставить 1 балл

За получение формулы (1) даже в скрытом виде ставить 1 балл.

За учёт времени перелёта как половины периода движения по орбите Цандера ставить 1 балл.

За учёт формулы (2) ставить 1 балл. За правильный выбор параллактического угла ставить 1 балл

За учёт соотношения (3) ставить 1 балл

Получение итоговой расчётной формулы (4) или её использование по частям с выходом на ответ ставить 1 балл. Получение правильного ответа ставить 1 балл.

Если вместоperiцентрического расстояния взяли апоцентрическое или неправильно выбран параллактический угол, то итоговая оценка не должна превышать 4 баллов.

5. «Параллакс звезды Проксима Центавра» (8 баллов). Величина годичного параллакса (параллактический угол) звезды Проксима Центавра равен $0,77''$, если этот угол измерять с Земли. В настоящее время на Марсе находится марсоход, оборудованный телескопом с разрешением $1''$. Сможет ли марсоход заметить в этот телескоп годичный параллакс звезды Проксима Центавра? Ответ обоснуйте. *Справочные данные, которые могут пригодиться для расчётов:* экваториальный радиус Марса составляет $0,53$ экваториального радиуса Земли, радиус орбиты Марса примерно $1,52$ астрономической единицы, период обращения Марса вокруг Солнца равен $1,88$ земных лет.

5. «Параллакс звезды Проксима Центавра» (8 баллов). Ответ: Да. Возможное обоснование: 1. Параллактические углы малы, поэтому синус параллактического угла можно считать прямо пропорциональным величине параллактического угла (равным величине угла, если угол выражен в радианах). И этот угол тем больше, чем больше базис. Базисом при измерении параллактических углов методом годичного параллакса выступает радиус орбиты планеты.

2. Поскольку радиус орбиты Марса больше радиуса земной орбиты в $1,52$ раза, поэтому и параллактический угол звезды Проксима Центавра оказывается больше в $1,52$ раза. Следовательно, на Марсе годичный параллакс будет равен $1,52 \cdot 0,77'' = 1,17''$.

3. Эта величина больше углового разрешения телескопа, поэтому марсоход заметит параллактическое смещение звезды Проксима Центавра.

Критерии оценки. За правильный ответ на вопрос ставить 1 балл.

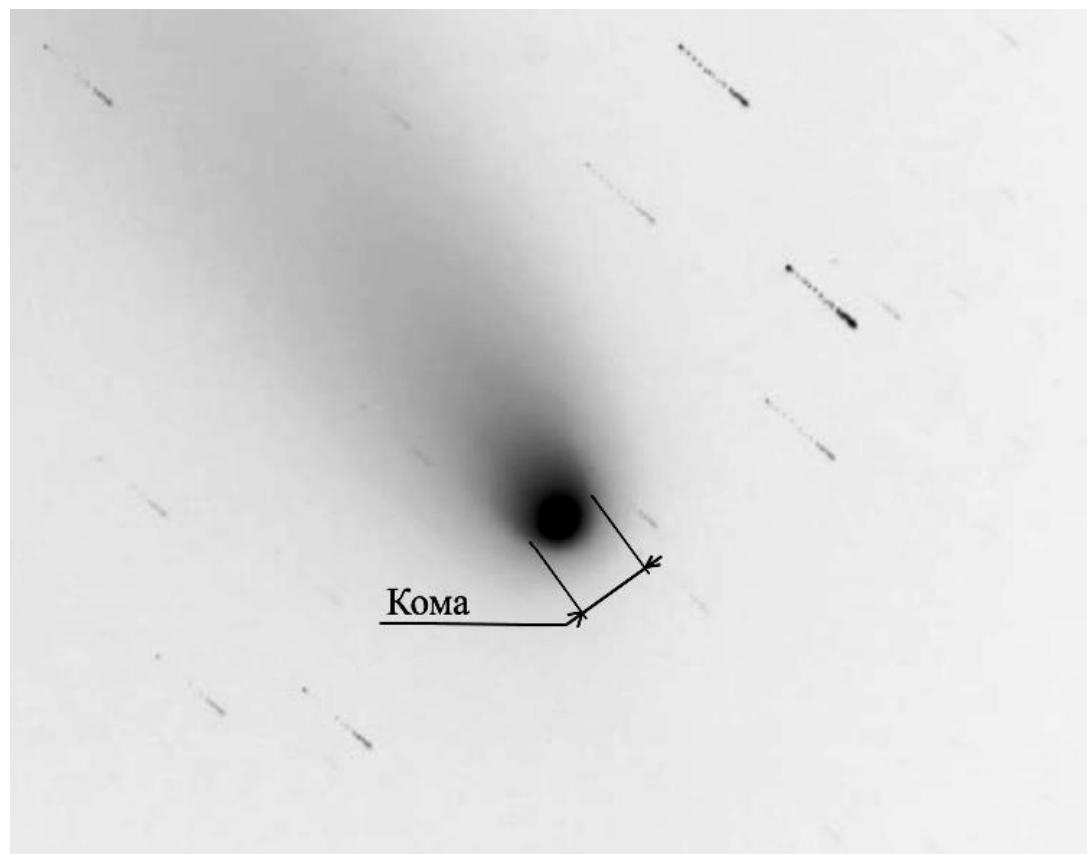
За обоснованное утверждение, что параллактический угол пропорционален радиусу орбиты планеты, с которой проводится наблюдение, добавить 2 балла (это обоснование может содержать рисунки и формулы для вычисления параллактического угла, но можно ограничиться ответом, по типу приведённого здесь).

За проведение правильных расчётов добавить 2 балла.

За сравнение параллакса звезды с угловым разрешением телескопа добавить 2 балла.

За вывод, что если параллакс (параллактический угол) звезды будет больше углового разрешения телескопа, то параллакс можно будет измерить добавить 1 балл.

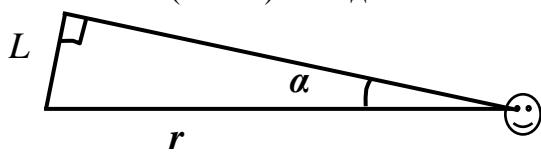
6. «Комета Цзиньшань» (8 баллов). 19 октября 2024 года астроном-любитель сфотографировал комету Цзиньшань. Фотосъемка велась с помощью телескопа с ведением в течении 50 минут (т.е. телескоп автоматически поворачивался синхронно с перемещением кометы так что при этом комета всё время оставалась в центре кадра). Определите размер комы кометы в километрах. На негативной фотографии ядро кометы – это самое темное пятно, кома – полукруглое темное облако вокруг ядра. Его размеры показаны отрезком. Треки звёзд – параллельные чёрточки. Расстояние до кометы составляло 0,56 а.е. Учтите, что 1 а.е. = 150 млн. км.



6. «Комета Цзиньшань» (8 баллов). Ответ: ≈ 48000 км (48000 ± 2000) км.

Пояснение и критерии оценки: Треки звёзд соответствуют пути кометы среди звёзд за время съемки. (1 балл)

Учитывая условие и измерив размер трека на фото (≈ 12 мм), получаем следующее соответствие 12 мм $\approx 2'20''$. (1 балл). Следовательно 1 мм $\approx 11,7''$ (1 балл).



Размер комы в поперечнике согласно фото примерно ≈ 10 мм (1 балл).

Значит, угловой размер комы равен $\alpha \approx 117'' \approx 2'$ (1 балл). Реальный размер комы находим, учитывая рисунок по формуле из расчёта $L = r \cdot \sin \alpha$ (2 балла).

$$L = 0,56 \cdot 150000000 \text{ км} \cdot \sin 2' \approx 48000 \text{ км} \text{ (1 балл).}$$

Примечание: Допускается разброс числовых значений (связанный с точностью измерений и промежуточных округлений) ± 2000 км. При полуторном и более расхождении числовых значений с авторскими полезно перепроверить соответствие масштабов в авторском решении и в бланке, который был предложен учащимся и при необходимости скорректировать числа.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

2025-2026 уч. год. Муниципальный этап. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ

11 КЛАСС Условия, ответы, решения, критерии оценки

Авторы-составители задач А.Ю. Алексеев научный сотрудник физико-астрономического отдела ГМИК им. К.Э. Циолковского, М.С. Красин профессор кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского, Е.Н. Типикина заведующий сектором астрономических наблюдений ГМИК им. К.Э. Циолковского, под ред. М.С. Красина

1. «Космические путешествия» (8 баллов). Экипаж звездолёта наблюдал одну и ту же звезду с расстояния 0,6 пк и 6 пк. Как при этом изменялись следующие характеристики звезды:

А. Яркость звезды (освещённость поверхности датчика, на которую падал свет этой звезды),
Б. Видимая звёздная величина звезды, В. Абсолютная звёздная величина звезды. Считать, что за время наблюдений светимость звезды не изменилась. Ответы поясните формулами, словами и (или) рисунками.

1. «Космические путешествия» (8 баллов). Ответы: А. Освещённость уменьшилась в 100 раз. **Б.** Видимая звёздная величина звезды увеличилась на 5^m . **В.** Абсолютная звёздная величина звезды не изменилась. **Пояснения:** А. Освещенность равна энергии, которая падает за 1 с на поверхность в 1 м^2 . При увеличении расстояния в 10 раз площадь сферы, в центре которой находится звезда, а на поверхности которой оказывается звездолёт увеличивается в 100 раз ($S = 4\pi r^2$). Поэтому на единичную поверхность попадает в 100 раз меньше энергии. **Б.** Согласно закону Погсона

$\frac{E_2}{E_1} = 10^{0.4(m_1 - m_2)}$, в нашем случае $10^2 = 10^{0.4(m_1 - m_2)}$, следовательно $m_1 - m_2 = 5$. Можно объяснить иначе, опираясь на известное соотношение, что увеличение освещённости приблизительно в 2,51 раза (точнее в $\sqrt[5]{100}$, а приблизительно 2,5 раза) приводит к уменьшению звёздной величины на 1^m . **В.** Абсолютная звёздная величина звезды, согласно определению, не зависит от расстояния, с которого эта звезда реально наблюдается.

Критерии оценки. За каждый правильный ответ ставить 1 балл. За обоснование ответов на вопросы **А** и **Б** ставить по 2 балла (если обоснование вполне корректное) или по 1 баллу (если в обосновании допущены некоторые неточности). За обоснование ответа **В** ставить 1 балл.

2. «Подвижная карта звёздного неба 11» (8 баллов). Воспользовавшись подвижной картой звёздного неба, ответьте на вопросы. **Вопрос 1.** Какая звезда будет наблюдаваться вблизи верхней кульминации к северу от зенита 5 декабря в 19-00 при наблюдении из местности с координатами (широта $\varphi = 60^\circ$, долгота $\lambda = 85^\circ$) (достаточно указать только одну звезду, но надо обязательно пояснить, как Вы это определили по подвижной карте). **Вопрос 2.** Найдите на карте звёзды α Секстанта и η Девы. Определите, какая из этих звёзд будет раньше заходить за горизонт, при наблюдении за ними с экватора Земли, и на какой высоте (в градусной мере) над горизонтом будет находиться другая звезда (обязательно поясните, как Вы получили необходимые сведения с помощью подвижной карты и какие расчёты Вам потребовалось провести).

2. «Подвижная карта звёздного неба 11» (8 баллов). Ответы. **Вопрос 1.** γ Цефея, **Вопрос 2.** В момент захода звезды α Секстанта звезда η Девы будет наблюдаваться на высоте $33^\circ \pm 5^\circ$. **Пояснение к ответу на вопрос 1.** Совмещаем отметку 19 ч на накладном круге с отметкой 5 декабря на основной части. Учитываем, что в верхней кульминации будут наблюдаваться звёзды, оказавшиеся на линии, соединяющей Полярную (полюс мира) и точку Юга. В зените кульминируют звёзды, имеющие склонение, равное широте местности. Поэтому к северу от зенита кульминируют звёзды, оказавшиеся между точкой пересечения линии склонения 60° с небесным меридианом (линия Полярная – точка Юга) и Полярной (полюсом мира). Вблизи этого участка небесного меридиана оказывается звезда γ Цефея. **Пояснение к ответу на вопрос 2.** Склонения этих звёзд близки к нулю, т.е. эти звёзды расположены практически на небесном экваторе. Прямое восхождение звёзды α Секстанта равно 10ч 08мин, а звезды η Девы равно 12ч 20мин. Прямое восхождение меньше у звезды α Секстанта, поэтому эта звезда раньше восходит и раньше заходит. Разность между прямыми восхождениями звёзд равна 2ч 12мин. Поскольку звёзды расположены практически на небесном экваторе, то для наблюдателей, находящихся на экваторе Земли эти звёзды будут двигаться в плоскости перпендикулярной горизонту и заходить строго на западе. Поэтому, когда звезда с меньшим прямым восхождением будет заходить за горизонт, вторая звезда будет над

горизонтом на высоте, равной разности прямых склонений. Если перевести часовую меру в градусную получаем $2\text{ч} 12\text{мин}=33^\circ$.

Внимание, с учётом погрешности измерений по карте допускается ошибка в определении прямого восхождения не более 10 мин. Поэтому погрешность разности равна 20 мин или 5° .

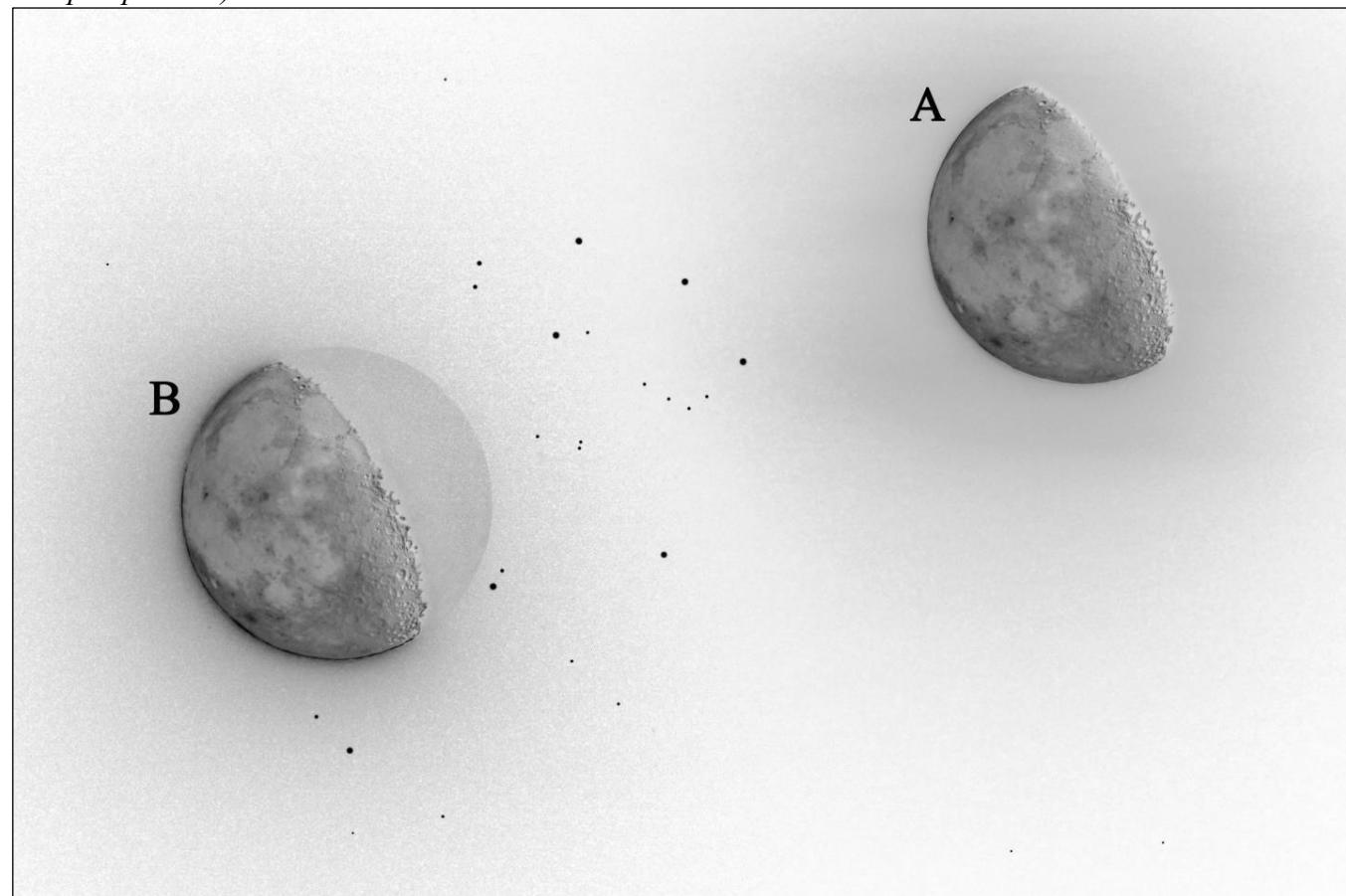
Критерии оценки. За ответ на вопрос 1. Указание на звезду γ Цефея оценить в 1 балл.

За объяснение, как это было установлено добавить 2 балла. Если указана δ Кассиопеи, то ставить всего 1 балл при наличии обоснования (т.к. эта звезда всё-таки кульминирует к югу от зенита (почти в зените)). **За ответ на вопрос 2.** Если определены прямые восхождения звёзд α Секстанта и η Девы с погрешностью ± 10 мин и дано пояснение как это было установлено с помощью подвижной карты, то ставить по 1 баллу за каждую звезду. Если обоснования нет, то баллы не ставить. **Если** указано, что раньше заходит α Секстанта и дано обоснование этому, то ставить 1 балл. **Если** указано, что угол зависит от разности прямых восхождений, т.к. звёзды движутся в плоскости перпендикулярной горизонту, то ставить 1 балл. **Если** сделан правильный перевод часовской меры в градусную и получено значение высоты второй звезды в интервале от 28° до 38° (из-за погрешности измерения координат по карте), то ставить 1 балл.

3. «Плеяды и Луна» (8 баллов). В своём движении по небу Луна периодически закрывает собой звёзды и планеты, такие явления называются покрытиями. В сентябре 2025 года наблюдалось покрытие Луной рассеянного звёздного скопления Плеяды. Перед вами негатив комбинированной фотографии, отражающей два положения Луны на фоне скопления в ту ночь. Время съёмки указано в таблице.

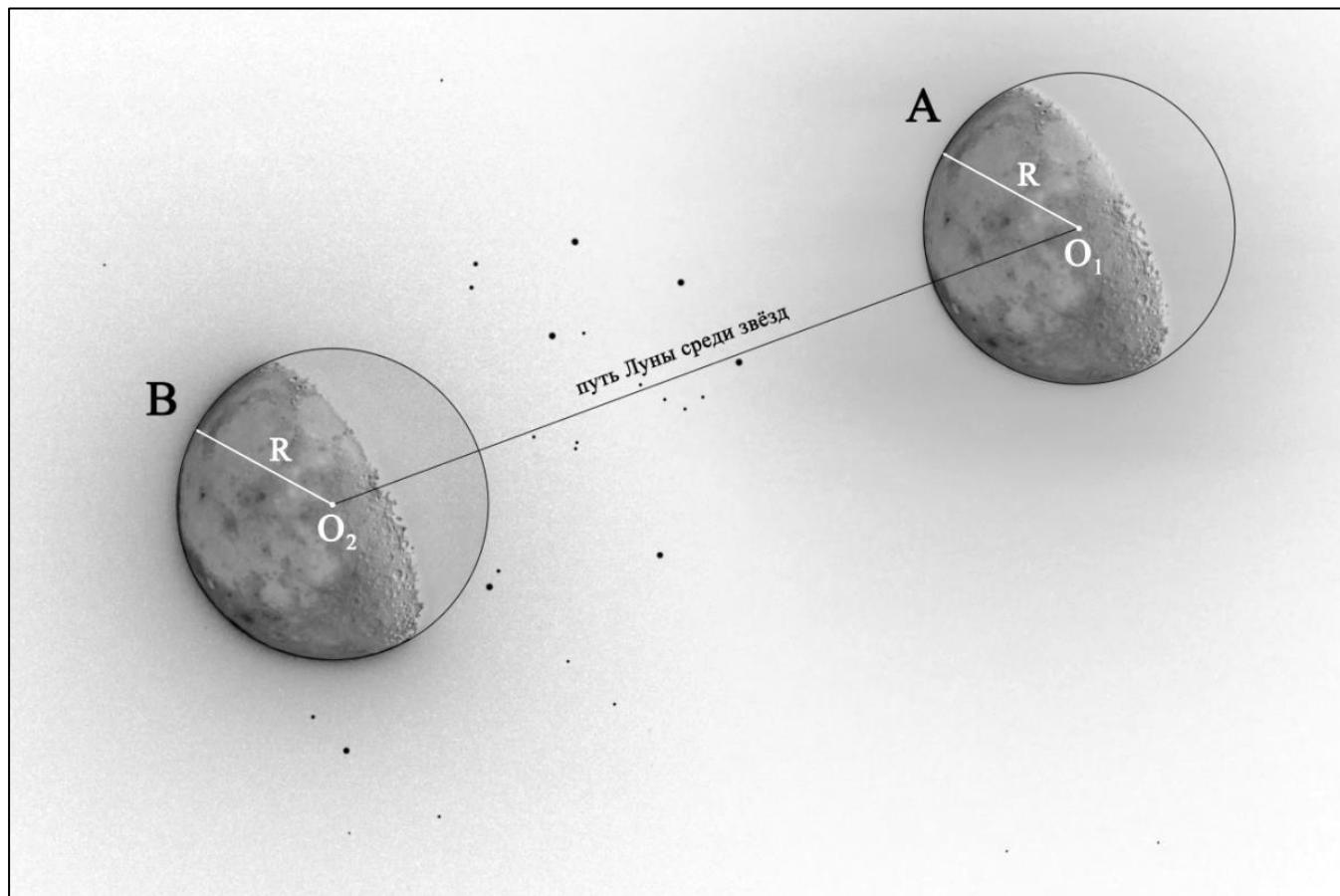
Положение Луны	Дата фотоснимка	Время снимка	Погодные условия
A	12.09.2025	22 ч 33 мин 06 сек	лёгкая облачность
B	13.09.2025	0 ч 56 мин 42 сек	ясно

Определите с помощью этих данных звёздный период обращения Луны вокруг Земли. Угловой размер Луны примите равным $32' 45''$. *Внимание, если Вы не поясните, как получили это значение по фотографии, то баллы выставлены не будут. Для справки: Негативным называют изображение, на котором тёмные участки выглядят светлыми, а светлые – тёмными (т. е. цвета инвертированы).*



3. «Плеяды и Луна» (8 баллов). Ответ. $\approx 26,4$ сут

Пояснение. А. Измерим диаметр изображения Луны. Б. Найдём построением на фотографии центры лунных дисков, например, методом серединных перпендикуляров, или иначе (можно даже «на глаз»). Измерим «путь» Луны O_1O_2 среди звёзд за наблюдаемый промежуток времени.



В. Заметим, что этот путь (длина отрезка O_1O_2) на снимке примерно в 2.5 раз больше диаметра лунного диска (например, диаметр 42 мм, расстояние между центрами 105 мм).

Г. Т.е., учитывая угловой размер Луны, он составляет $32' 45'' \cdot 2,5 = 32,75' \cdot 2,5 = 81.875' \approx 1,36^\circ$

Д. Определим время между снимками. От момента первой съёмки до окончания суток прошло 24 ч – 22 ч 33 мин 06 с = 1 ч 26 мин 54 с. С полуночи до второй экспозиции – ещё 0 ч 56 мин 42 с. Итого, интервал между съёмками 2 ч 23 мин 36 с $\approx 2,39$ ч. **Е.** Значит, на полный оборот в 360° Луне потребуется время равное $T = \frac{360^\circ \cdot 2,39 \text{ ч}}{1,36^\circ} \approx 632,65 \text{ ч} \approx 26,4$ сут

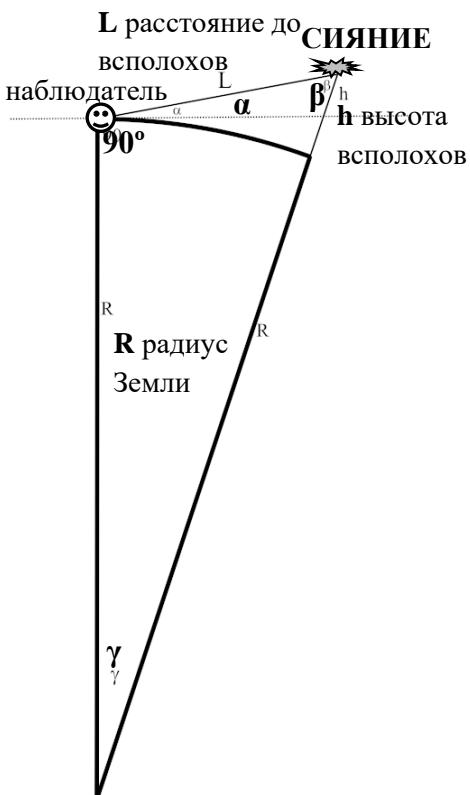
Критерии оценки. За выполнение пунктов А, Б, В, Д ставить по 1 баллу (Если пункты А и Б учтены в скрытом виде, а в явном виде выполнен пункт В, то считать, что они выполнены и ставить 3 балла за А, Б, В). Следует считать правильным, если в пункте В величина отношения попадает в интервал от 2,3 до 2,7, а при определении точности измерения пунктов А и Б, следует проверить, возможно при распечатке заданий изменился масштаб. За выполнение пунктов Г и Е ставить 2 балла, если не допущены вычислительные ошибки или 1 балл, если в расчётах имеется по одной вычислительной ошибке.

Если без каких-либо обоснований приводится ответ 27,3 сут, то баллы не ставить!

Примечание от составителей: Истинное значение звёздного периода обращения Луны составляет 27,3 суток. Погрешность возникает из-за дисторсии линз объектива, неточности совмещения фотоснимков, неточности измерений.

4. «Расстояние до сияния» (8 баллов). Высота всполохов сияния над горизонтом в 2024 году достигала 10° . Определите расстояние от наблюдателя до верхней границы всполохов в атмосфере, где происходит сияние, если известно, что его верхняя граница находится на высоте 300 км над поверхностью Земли. Радиус Земли равен 6371 км.

4. «Расстояние до сияния» (8 баллов). Ответ: 1160 км (от 1110 км до 1210 км)



Пояснения. Введём обозначения:

$\alpha=10^\circ$ высота всполохов для наблюдателя, выраженная в градусной мере. $R=6371$ км - радиус Земли
 L – расстояние до места, где происходит сияние
 h – высота места, где происходит сияние (расстояние от поверхности Земли)

Сделаем рисунок, изобразив на нём дугу - часть поверхности Земли от места наблюдения до места, над которым происходит сияние. Проведём к крайним точкам дуги радиусы Земли. Отметим угол α как угол между линией горизонта в месте нахождения наблюдателя (😊) и линией от наблюдателя до места сияния (💥), а также вспомогательные углы β и γ .

По теореме синусов находим β : $\frac{\sin(\alpha+90)}{R+h} = \frac{\sin \beta}{R}$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R}{R+h} \sin(\alpha + 90)\right) = 70,1^\circ$$

$$\gamma = 180 - (90 + \alpha) - \beta = 9,9^\circ$$

Так же по теореме синусов находим L :

$$L = (R + h) \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha + 90)}$$

Подставляя значения, получаем $L=1160$ км (Это число получается, если считать без округлений. Ответы от 1110 км до 1210 км следует признать правильными)

Критерии оценки. Наличие рисунка более или менее правильного оценивать в 2 балла. Если рисунок слишком простой и неточный, то ставить 1 балл. За изображение на рисунке величин, указанных в условиях добавить 2 балла, если отмечены все, или 1 балл, если правильно отмечены лишь некоторые. Если рисунка нет, но имеются некоторые верные логические рассуждения, то допускается их оценка в 1 балл.

Оставшиеся 4 балла распределяются в зависимости от правильности найденных соотношений.

За полностью правильное решение ставить 8 баллов. Если ответ не найден или выбран неправильный метод определения расстояния (который приводит к неправильному ответу), но имеются разумные рассуждения, то итоговая оценка за задачу не должна превышать 5 баллов. За вычислительную ошибку снижать оценку на 1 балл.

5. «Звезда и экзопланета» (8 баллов). Жители некоторой экзопланеты (планеты, обращающейся не вокруг Солнца, а вокруг другой звезды) обладают всеми знаниями, что и жители Земли. Они измерили, что радиус их планеты равен 5000 км, что горизонтальный параллакс звезды, вокруг которой обращается их планета равен $10,3''$ (т.е. 10,3 угловых секунд), что угловой диаметр видимого диска звезды никогда не изменяется и равен $20,7'$ (т.е. 20,7 угловых минут), что освещенность, которую звезда создаёт на поверхности планеты (т.е. энергия звезды, которая за 1 с попадает на участок поверхности планеты площадью в 1 м^2) составляет $1600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$, выяснили, что период обращения планеты вокруг звезды составляет 730 земных суток. Оцените (т.е. приблизительно вычислите): **А.** Расстояние от экзопланеты до звезды, **Б.** Радиус звезды, **В.** Массу звезды., **Г.** Плотность звезды. **Д** Эксцентриситет орбиты экзопланеты. **Е.** Светимость звезды (т.е. энергию, излучаемую звездой за единицу времени по всем направлениям). При расчётах светимости следует пренебречь частичным поглощением атмосферой планеты света от звезды. **Ё.** Температуру видимой поверхности звезды. **Ж.** Спектральный класс звезды.

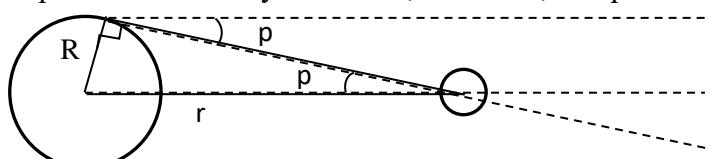
Справочные данные. Можно считать, что гравитационная постоянная равна $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$, масса Солнца $M_c = 2 \cdot 10^{30}$ кг, земной год 365 сут, $\pi = 3$, $\pi^2 = 10$, расстояние от Земли до Солнца 1 а.е.=150 млн км, объём шара $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, площадь сферы $S = 4\pi r^2$, постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$, постоянная Вина $b = 0,0029 \text{ м} \cdot \text{К}$.

5. «Звезда и экзопланета» (8 баллов). Ответы:

А. $r \approx 100$ млн км. **Б.** $R_{3B} \approx 300 000$ км. **В.** $M \approx 1,5 \cdot 10^{29}$ кг или $M \approx 1,4 \cdot 10^{29}$ кг.

Г. $\rho_{3B} \approx 1400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и $\rho_{3B} \approx 1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. **Д.** Ноль. **Е.** $L \approx 6 \cdot 10^{26}$ Вт. **Ё.** $T \approx 9700$ К. **Ж.** класс О.

Пояснения. К ответу на вопрос А. Опираясь на приведённый ниже рисунок, учитывая, что параллактические углы малы, находим, что расстояние до звезды равно

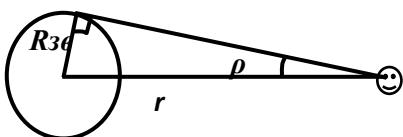


$$r = \frac{R}{\sin \rho} = \frac{R}{\rho} = \frac{R \cdot 206265''}{\rho''} \approx 100 \text{ млн км.}$$

Примечание от составителей: конечно, размеры звезды значительно большие размеров планеты, поэтому для более

точного измерения параллакса звезды используют ещё один небесный объект (ещё одна планета или астероид), обращающийся вокруг звезды, который в определённый момент оказывается в нижнем соединении или в противостоянии. Измеряют параллакс этого объекта, а затем, учитывая третий закон Кеплера и периоды обращения вокруг звезды планеты и этого объекта, вычисляют параллакс звезды. Но идея измерения годичного параллакса звезды именно такая, какая отражена на рисунке и данное соотношение правильное.

К ответу на вопрос Б. Опираясь на приведённый ниже рисунок, находим, что расстояние до



$$\text{звезды равно } R_{3B} = r \cdot \sin \rho = r \cdot \rho \text{ (пк)} = \frac{r \cdot \rho''}{206265''}$$

$$R_{3B} = \frac{100 \cdot 10^6 \text{ км} \cdot 20,7 \cdot 60}{2 \cdot 206265} \approx 300 000 \text{ км.}$$

К ответу на вопрос В. Массу звезды можно найти

- либо из динамики движения планеты вокруг звезды $\frac{m \cdot v^2}{r} = G \frac{m \cdot M}{r^2}$

взаимосвязи скорости v с периодом обращения T с получением расчётной формулы $M = \frac{4\pi^2 \cdot r^3}{G \cdot T^2}$,

- либо с записью уточнённого третьего закона Кеплера в виде $\frac{T^2 M}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G}$ и получаем этой же формулы,

- либо с записью третьего закона Кеплера для двух систем принимая в качестве второй системы систему Земля-Солнце, в том числе, учитывая, что радиус орбиты планеты составляет $2/3$ радиуса орбиты Земли, а период равен двум земным годам, с получением расчётной формулы в виде $M = M_{\text{солнца}} \left(\frac{T_{\text{земли}}}{T} \right)^2 \cdot \left(\frac{r}{r_{\text{земли}}} \right)^3$.

Понятно, что жители экзопланеты могли не знать про особенности системы Земля-Солнце, но участники олимпиады, но мы, земляне, могли использовать любую из этих формул. В зависимости от погрешности округления результаты $M \approx 1,5 \cdot 10^{29}$ кг и $M \approx 1,4 \cdot 10^{29}$ кг будем считать правильными.

К ответу на вопрос Г. Плотность звезды находим по формуле $\rho_{3B} = \frac{3M}{4\pi R_{3B}^3}$. В зависимости от найденного значения массы ответы $\rho_{3B} \approx 1400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и $\rho_{3B} \approx 1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ считаем правильными.

К ответу на вопрос Д. Поскольку угловой диаметр звезды не меняется, значит не меняется и расстояние от планеты до звезды, следовательно планета движется по окружности, эксцентриситет такой орбиты равен нулю.

К ответу на вопрос Е. Взаимосвязь светимости и освещенности отражает формула $L = 4\pi r^2 E$. Подставив числовые данные, получим $L \approx 6 \cdot 10^{26}$ Вт

К ответу на вопрос Ё. Связь температуры звезды со светимостью и радиусом отражает формула

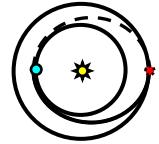
$$L = 4\pi R_{3B}^2 \cdot \sigma \cdot T^4, \text{ откуда } T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R_{3B}^2 \cdot \sigma}}. \text{ Подставив числовые данные, получаем } T \approx 9700 \text{ К.}$$

К ответу на вопрос Ж. Спектральному классу О принадлежат звёзды, температура поверхности которых находится в интервале приблизительно от 9000 К до 11000 К.

Критерии оценки. За каждый правильный ответ на вопросы ставить 1 балл при **наличии обоснования**. При отсутствии обоснования баллы не ставить. Для обоснования рисунки не обязательны, ученики могут помнить формулы, следующие из этих рисунков, но в тех случаях, когда применяется расчётная формула, эта формула должна быть записана. Если сделана

вычислительная ошибка, то оценка снижается на полбалла, но итоговая оценка за задачу должна быть округлена до целого с избытком (в большую сторону).

6. «Перелёт между экзопланетами» (8 баллов). Жители некоторой экзопланеты собрались отправить космический зонд на соседнюю планету, обращающуюся вокруг этой же звезды. К моменту принятия решения они знали все законы, которые знаем и мы, земляне. При этом они установили, что период обращения их планеты вокруг звезды равен 400 земных суток, измерили годичный параллакс своей звезды, который всегда остаётся постоянным, выяснили, что годичный параллакс второй планеты, когда она оказывается в противостоянии, периодически изменяется в интервале от $\frac{1}{6}$ годичного параллакса звезды, до 2 годичных параллаксов звезды. Определите минимальное время, за которое космический зонд сможет долететь до второй планеты, если он будет лететь по траектории Цандера (Цандера-Гомона). **Для справок:** траектория Цандера представляет собой половину эллипса, касающегося орбит планет, между которыми осуществляется перелёт (см. рисунок). Эта орбита является наиболее экономичной по расходу топлива.



6. «Перелёт между экзопланетами» (8 баллов). Ответ. 280 сут или 275 сут в зависимости от погрешности округления. **Пояснение.** Поскольку параллакс звезды не меняется, значит первая планета (с которой стартует зонд) движется по круговой орбите. Поскольку вторая планета может находиться в противостоянии, то она располагается дальше от звезды, чем первая. Поскольку параллакс второй планеты в противостоянии изменяется, то орбита этой планеты эллиптическая. Значит для старта зонда следует выбрать такой момент, что когда он достигнет орбиты второй планеты, эта планета будет находиться на самом маленьком удалении от звезды, т.е. в перигалактике своей орбиты. Тогда большая полуось эллиптической орбиты Цандера будет равна полуразности радиуса орбиты первой планеты и перигалактического расстояния второй планеты. Из третьего закона Кеплера можно записать $\left(\frac{T_{\text{п}}}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{0,5(r_1+r_{\text{п}})}{r_1}\right)^3$, (1)

откуда, учитывая, что время перелёта равно половине периода обращения по орбите Цандера, получаем $\tau = 0,5T_{\text{п}} = 0,5T_1\sqrt{\left(\frac{1}{2}\left(1 + \frac{r_{\text{п}}}{r_1}\right)\right)^3}$. Связь годичного параллактического угла с радиусом

планеты наблюдателя и расстоянием до исследуемого объекта отражает формула $r = \frac{R}{\sin p} = \frac{R}{p}$, (2) учитывая малость углов. Т.е. чем больше параллакс объекта, тем он ближе. Поэтому для определения перигалактического расстояния второй планеты выбираем параллакс, который больше параллакса звезды в 2 раза $p_{\text{п}} = 2p_{\text{зв}}$. Учитывая, что в противостоянии расстояние до второй планеты равно разности её перигалактического расстояния и радиуса орбиты первой планеты, получаем соотношение $\frac{p_{\text{зв}}}{p_{\text{п}}} = \frac{r_{\text{п}} - r_1}{r_1}$ (3)

Из него получаем $1 + \frac{r_{\text{п}}}{r_1} = 2 + \frac{p_{\text{зв}}}{p_{\text{п}}}$. Следовательно, время перелёта можно рассчитать по формуле

$$\tau = 0,5T_1 \left(1 + \frac{p_{\text{зв}}}{2p_{\text{п}}}\right) \sqrt{\left(1 + \frac{p_{\text{зв}}}{2p_{\text{п}}}\right)} \quad (4)$$

Подставив числовые данные, получаем $\tau \approx 280$ сут, если почти без округления или 275 сут, если вычисления проводить с промежуточными округлениями.

Критерии оценки. За утверждение, что орбита первой планеты круговая ставить 1 балл

За получение формулы (1) даже в скрытом виде ставить 1 балл.

За учёт, что перелёт занимает половину периода движения по орбите Цандера ставить 1 балл.

За учёт формулы (2) ставить 1 балл. За правильный выбор параллактического угла ставить 1 балл

За учёт соотношения (3) ставить 1 балл

Получение итоговой расчётной формулы (4) или её использование по частям с выходом на ответ ставить 1 балл. Получение правильного ответа ставить 1 балл.

Если вместо перигалактического расстояния взяли апоцентрическое или неправильно выбран параллактический угол, то итоговая оценка не должна превышать 4 баллов.