

Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
в Томской области в 2025-2026 учебном году
11 класс

КЛЮЧИ

Время выполнения заданий –120 мин.

Максимальное количество первичных баллов – 48, итоговых – 100.

ЗАДАНИЕ 1.

Планета X имеет такой же радиус, как и Земля. Но ускорение свободного падения на ней ниже и составляет 89% земного. Найдите период обращения спутника планеты X, движущегося по круговой орбите высотой 500 км. Масса спутника мала по сравнению с массой планеты.

Решение. Ускорение свободного падения

$$g = \frac{GM}{R^2},$$

пропорционально массе планеты M и обратно пропорционально квадрату радиуса R, гравитационная постоянная G. Так как радиус планеты X равен радиусу Земли, то $M \sim g$. Отсюда можно сделать вывод о том, что масса планеты X равна 89% массы Земли. Используя формулу для периода обращения спутника, находим

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R + H)^3}{GM}} \approx 6007 \text{ сек} \approx 100,1 \text{ мин.}$$

Ответ: T=100 минут.

Критерии оценивания.

8

После каждого критерия указывается подробная детализация для оценивания в случае неправильного ответа на вопрос. Неявное выполнение подпунктов засчитывается, если в итоге ответ на финальный вопрос правильный.

K1.

Определение массы планеты X

Формула для ускорения свободного падения 1

Радиусы Земли и планеты X равны, так что $M \sim g$ 1

Масса 89% массы Земли 1

Численное значение массы 1

K2.

Определение периода обращения

Высота орбиты R+H 1

Формула для периода обращения 1

Вычисление периода обращения (погрешность менее 5%) 1

Вычисление периода обращения (погрешность менее 2%) 1

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
в Томской области в 2025-2026 учебном году
11 класс**

ЗАДАНИЕ 2.

Телескоп-рефрактор системы Галилея имеет при фокусировке на бесконечность длину 100 см и увеличение 25 крат. Определите фокусное расстояние объектива и фокусное расстояние окуляра. Считайте, что толщина линз объектива и окуляра пренебрежимо мала.

Решение. Телескоп рефрактор системы Галилея использует в качестве объекта собирающую линзу, а в качестве окуляра – рассеивающую. Расстояние между линзами равно разности фокусных расстояний объектива и окуляра, а увеличение равно их отношению. Так как толщина линз мала, то длина телескопа буквально совпадает с расстояниями между оптическими плоскостями линз. Если F и f – фокусное расстояние объектива и окуляра, имеем систему уравнений

$$F - f = 100 \text{ см}, \quad \frac{F}{f} = 25.$$

Решение этой системы,

$$F = \frac{625}{6} \text{ см} \approx 104,2 \text{ см}, \quad f = \frac{25}{6} \text{ см} \approx 4,2 \text{ см}.$$

Ответ: $F=625/6$ см, $f=25/6$ см.

Критерии оценивания.

8

После каждого критерия указывается подробная детализация для оценивания в случае неправильного ответа на вопрос. Неявное выполнение подпунктов засчитывается, если в итоге ответ на финальный вопрос правильный.

K1.

Оптическая схема телескопа

Качественное описание оптической схемы	1
--	---

длина - разность фокусных расстояний	1
--------------------------------------	---

толщина линз мала	1
-------------------	---

формула увеличения	1
--------------------	---

K2.

Определение фокусных расстояний

Составление уравнения $F-f=100$	1
---------------------------------	---

Составление уравнения $F/f=25$	1
--------------------------------	---

Определение фокусного расстояния объектива	1
--	---

Определение фокусного расстояния окуляра	1
--	---

ЗАДАНИЕ 3.

Двойная звезда состоит из двух шарообразных звезд одинакового радиуса, обращающихся по круговой орбите в плоскости луча зрения. Найдите звездную величину компонента А, если звездная величина вне затмения равна 3, а в момент полного затмения компонента А – 4.

Решение. Вне затмения свет приходит от двух звезд. В момент затмения компонента А свет приходит только от звезды В. Следовательно, звездная величина звезды В равна 4. Так как разница в блеске на 1 величину соответствует разности в освещенности в 2,512 раза, то звезда В дает 1,2,512

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
в Томской области в 2025-2026 учебном году**

11 класс

света от полной системы, а звезда А – 1,512/2,512 от общего светового потока двойной системы. Отсюда также следует, что световой поток от звезды А и 1,512 раза больше потока звезды В, $I_A/I_B=1,512$. Применим формулу Погсона, сравнив освещенность звезд А и В,

$$m_B - m_A = 2,5 \lg \frac{I_A}{I_B} \approx 0.45.$$

Отсюда $m_A \approx m_B - 0.45 \approx 3.55$.

Ответ: $m_A \approx 3.55$.

Критерии оценивания.

8

После каждого критерия указывается подробная детализация для оценивания в случае неправильного ответа на вопрос. Неявное выполнение подпунктов засчитывается, если в итоге ответ на финальный вопрос правильный.

K1.

Определение светового потока А

Световой поток вне затмения - сумма 1

В затмении А свет приходит от компонента В 1

Компонент В дает 1/2,512 освещенности 1

Компонент А дает 1,512/2,512 освещенности 1

K2.

Определение звездной величины А

Отношение светового потока $I_A/I_B=1,512$ 1

Запись формулы Погсона 1

Разность звездных величин компонентов 1

Вычисление m_A (погрешность не более 0.01) 1

Замечание. Можно сравнивать освещенность от звезды А и от полной системы. В случае отсутствия вычислительных ошибок, такое решение (критерий K2) оценивается полным баллом.

ЗАДАНИЕ 4.

Неподвижно закрепленный на штативе фотоаппарат с размером сенсора 24х36мм снимает через телеобъектив заход точки весеннего равноденствия. Определите широту места съемки, если одна из сторон кадра параллельна горизонту, а треки звезд направлены вдоль диагонали кадра?

Решение. Так как используется телеобъектив с малым полем зрения, то можно использовать формулы плоской тригонометрии. Малое поле зрения объектива позволяет, в частности, предполагать, что все звезды на кадре располагаются близко к небесному экватору. Так как треки звезд параллельны диагонали кадра, а горизонт параллелен с одной из сторон, то мы можем определить угол α , под которым звезда пересекает горизонт. Если большая сторона кадра располагается вдоль горизонта, то

$$\alpha = \arctan \frac{24}{36} \approx 33,69^\circ.$$

Если короткая сторона кадра направлена вдоль горизонта, то получается другое значение угла α ,

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
в Томской области в 2025-2026 учебном году
11 класс**

$$\alpha^* = \arctan \frac{36}{24} = 90^\circ - \alpha \approx 56,31^\circ.$$

Небесный экватор пересекает горизонт под углом $90^\circ - \varphi$. Приравнивая эту величину, получаем два значения широты,

$$\varphi = 90^\circ - \alpha = 56,31^\circ, \quad \varphi^* = 90^\circ - \alpha^* \approx 33,69^\circ.$$

Эти значения широты могут быть как в северном, так и в южном полушарии.

Ответ. Широта $33,69^\circ$ или $56,31^\circ$ с.ш. или ю.ш. (всего 4 решения).

Критерии оценивания.

8

После каждого критерия указывается подробная детализация для оценивания в случае неправильного ответа на вопрос. Неявное выполнение подпунктов засчитывается, если в итоге ответ на финальный вопрос правильный.

K1.

Положение фотоснимка

Приближение малых углов

Все звезды на кадре вблизи экваторе

Угол между стороной и диагональю кадра 33.69°

Угол между стороной и диагональю кадра 56.31°

K2.

Определение широты местности

Экватор пересекает горизонт под углом $90^\circ - \varphi$

Первое значение широты местности (погрешность до 1°)

Второе значение широты местности (погрешность до 1°)

Северное и южное полушарие

1

1

1

1

1

1

1

1

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
в Томской области в 2025-2026 учебном году
11 класс**

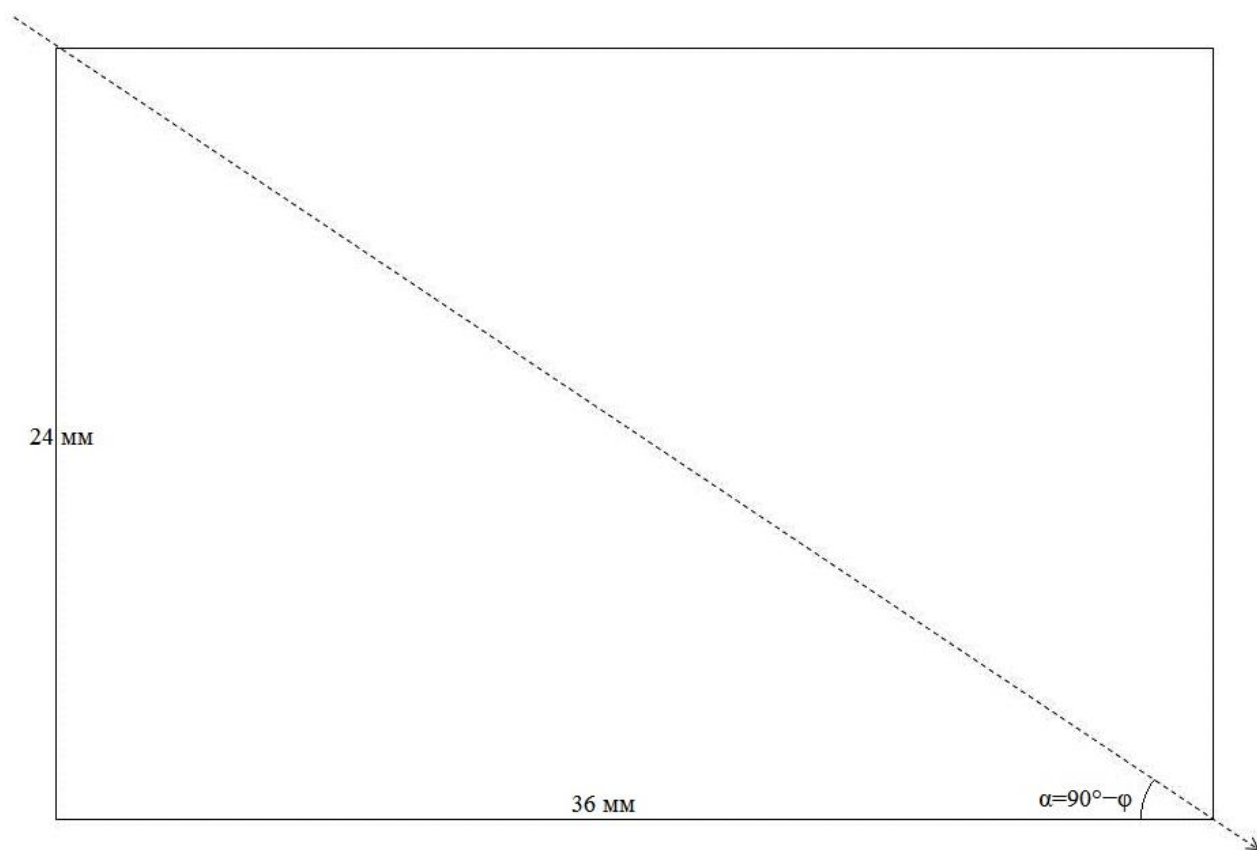


Рисунок к заданию 4. Пунктиром обозначен видимый путь точки весеннего равноденствия в северном полушарии. Ориентация кадра – пейзажная.

ЗАДАНИЕ 5.

Массу Луны увеличили так, чтобы центр масс системы Земля-Луна находился на поверхности Земли, радиус орбиты остался прежним. Определите, как изменился период обращения. Орбиту Луны считать круговой, возмущения со стороны Солнца не учитывать. Масса Земли не изменилась.

Решение. Пусть M_3 – Земли, $M_{тл}$ и $M_л$ – текущая и новая масса Луны, a – радиус лунной орбиты, x – расстояние от центра масс до центра Земли. Из табличных данных известно, что текущая масса Луны составляет 1,23% от массы Земли, или $M_л/M_3=0.0123$. В случае новой массы Луны выполняется «правило рычага»,

$$\frac{M_л}{M_3} = \frac{x}{a - x}.$$

По условию задачи масса Земли не изменилась, радиус орбиты Луны остался прежним, а x равно радиусу Земли или 6371 км. Отношение масс Луны и Земли будет равно $M_л/M_3=0.0169$. Новое значение периода обращения определим с использованием третьего закона Кеплера в обобщенной формулировке,

$$\frac{\tau^2(M_3 + M_л)}{T^2(M_3 + M_{тл})} = \frac{a^3}{a^3} = 1. \quad (*)$$

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
в Томской области в 2025-2026 учебном году**

11 класс

Здесь τ – новый период обращения. Формула также учитывает, что радиус орбиты Луны не изменился. Выражая все массы в массах Земли, и используя табличное значение сидерического месяца ($T=27,322$ суток), находим

$$\tau = T \sqrt{\frac{1 + M_{\text{пл}} / M_{\text{з}}}{1 + M_{\text{л}} / M_{\text{з}}}} \approx 27,260 \text{ сут.}$$

Ответ: 27,26 суток.

Критерии оценивания.

8

После каждого критерия указывается подробная детализация для оценивания в случае неправильного ответа на вопрос. Неявное выполнение подпунктов засчитывается, если в итоге ответ на финальный вопрос правильный.

K1.

Определение новой массы Луны	4
Формула положения центра масс	1
Расстояние от центра масс до центра Земли 6371 км	1
Отношение масс $M_{\text{л}}/M_{\text{з}}$ или численное значение $M_{\text{л}}$	2

K2.

Определение сидерического месяца	
Третий закон Кеплера в обобщенной формулировке	1
Период обращения как сидерический месяц	1
Радиусы новой и старой орбиты равны	1
Новое значение периода обращения (погрешность до 0.01 сут)	1

Замечание. Вместо обобщенного закона Кеплера (*) может использоваться вариант формулы, содержащий гравитационную постоянную,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{G(M_{\text{з}} + M_{\text{л}})}}.$$

В этом случае п.4 критерия K1 оценивается 1 баллом за численное вычисление массы Луны, а все значения критерия K2 оцениваются полным баллом.

ЗАДАНИЕ 6.

Эклиптическая широта звездного скопления M7 в Скорпионе равна $\beta = -5.6^\circ$. Считая наклон экватора к эклиптике постоянным и равным $\varepsilon = 23.5^\circ$, найдите максимальную высоту скопления в Томске ($\varphi = 56.5^\circ$) в ближайшие 25 000 лет. Видимое движение скопления не учитывать.

Решение. Прецессия приводит к медленному изменению экваториальных координат скопления, из эклиптических координат меняется только долгота. Полный цикл изменения эклиптической долготы равен периоду прецессии и составляет 26000 лет. Высота скопления будет наибольшей, когда оно окажется непосредственно под точкой летнего солнцестояния, под – потому что эклиптическая широта отрицательная. Экваториальные координаты составят $\alpha = 6$ час, $\delta = 23.5 - 5.6 = 17.9$.

Поскольку Скорпион находится вблизи точки зимнего солнцестояния, то для достижения максимальной высоты ему потребуется примерно половина периода прецессии или около 13 000

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
в Томской области в 2025-2026 учебном году**

11 класс

лет. Это произойдет до окончания интервала в 25000 лет, установленного в задаче. Теперь можно вычислить высоту скопления, которая достигается в верхней кульминации. Используем формулу для кульминации к югу от зенита, так как $\delta < \varphi$:

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta = 51.4^\circ.$$

Ответ: 51.4°

Критерии оценивания.

8

После каждого критерия указывается подробная детализация для оценивания в случае неправильного ответа на вопрос. Неявное выполнение подпунктов засчитывается, если в итоге ответ на финальный вопрос правильный.

К1. Качественное описание прецессии

Период прецессии 26000 лет 1

Эклиптическая долгота не изменяется 1

Условие максимальной высоты скопления 1

Момент наступления макс. высоты: через 13000 лет 1

К2. Определение максимальной высоты

Определение склонения скопления 1

Максимальная высота в верхней кульминации 1

Кульминация к югу от зенита 1

Значение максимальной высоты (погрешность до $0,1^\circ$) 1