

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 50 баллов.



Задача 1. Инопланетные эксперименты (8 баллов).

Первый космонавт во время миссии на Меркурии бросил камень массой 0,5 кг с некоторой начальной скоростью под углом 60° к горизонту. Второй космонавт во время миссии на Марсе бросил камень массой 2 кг с такой же начальной скоростью под таким же углом 60° к горизонту. 1) На какой из планет (Марсе или Меркурии) камень пролетит большее расстояние по горизонтали и во сколько раз? 2) На какой из планет (Марсе или Меркурии) камень поднимется на большую высоту? Найти отношение максимальных высот подъема камней. Сопротивлением атмосфер планет пренебречь. Считать, что бросок выполняется с поверхности планеты (с нулевой высоты).

Возможное решение:

При отсутствии сопротивления время движения камня, дальность полета, максимальная высота подъема камня зависят от начальной скорости броска, угла и ускорения свободного падения на планете, но не зависят от массы камня.

Дальность полёта тела, брошенного под углом к горизонту:

$$L = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g},$$

где v_0 – начальная скорость, $\theta = 60^\circ$ – угол броска, g – ускорение свободного падения. Поскольку начальная скорость и угол броска одинаковы, то

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{g_2}{g_1},$$

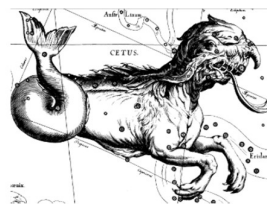
где L_1 — дальность на Меркурии, L_2 — на Марсе.

Максимальная высота подъема:

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}.$$

Отношение высот также обратно пропорционально отношению ускорений свободного падения.

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{g_2}{g_1}.$$



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Рассчитаем ускорение свободного падения на планетах. Необходимую информацию найдем в справочных данных.

Меркурий: масса - $M_1 = 3,302 \cdot 10^{23}$ кг, радиус - $R_1 = 2439,7$ км = 2 439 700 м, ускорение свободного падения

$$g_1 = \frac{GM_1}{R_1^2} \approx 3,70 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Марс: масса - $M_2 = 6,419 \cdot 10^{23}$ кг, радиус - $R_1 = 3397,2$ км = 3 397 200 м, ускорение свободного падения

$$g_2 = \frac{GM_2}{R_2^2} \approx 3,71 \text{ м/с}^2.$$

Таким образом,

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{H_1}{H_2} = \frac{g_2}{g_1} \approx 1,0027.$$

Итак, дальность полета и максимальная высота подъема чуть больше в случае Меркурия (примерно на 0,3%). Можно сказать, что дальности полета и максимальные высоты подъема практически одинаковы и их отношения равны приблизительно 1.

Критерии оценивания:

Запись выражения для максимальной высоты подъема камня – **1 балл.**

Отношение максимальных высот равно обратному отношению ускорений свободного падения – **1 балл.**

Запись выражения для горизонтальной дальности полета камня – **1 балл.**

Отношение дальностей полета равно обратному отношению ускорений свободного падения – **1 балла.**

Запись выражения для ускорения свободного падения – **1 балл.**

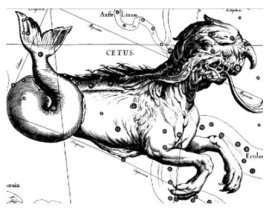
Правильные вычисления ускорений свободного падения (или сразу времен падения) – **1+1 = 2 балла**

Правильное нахождение искомых отношений (примерно = 1): **0,5 балла.**

Правильный вывод о том, где дальность и высота больше (либо ответ в обоих случаях Меркурий, либо вывод о том, что они практически одинаковы): **0,5 балла.**

Примечание. Обратите внимание, что в условии явно просят найти отношения. Поэтому у участника в явном виде должны быть записаны ответы на оба поставленных вопроса.

Итого максимум 8 баллов за задачу.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 50 баллов.



Задача 2. Наблюдения двойной (8 баллов)

За двойной звездой, состоящей из двух красных карликов массой по $0,3M_{\odot}$, наблюдают в телескоп диаметром 300 мм с относительным отверстием $1/6$, используя окуляр с фокусным расстоянием 15 мм. Известно, что годичный параллакс системы $0,05''$, а орбиты звезд круговые. Определите минимальный период этой двойной системы, при котором ее еще можно разрешить с помощью данного телескопа.

Возможное решение:

Относительное отверстие телескопа – это отношение диаметра объектива к его фокусному расстоянию. Тогда фокусное расстояние объектива: $F = 6 \cdot 300 = 1800$ мм.

При этом фокусное расстояние окуляра $f = 15$ мм, тогда увеличение системы «объектив-окуляр»:

$$\Gamma = F/f = 1800/15 = 120.$$

Разрешение глаза $1'$, а такой телескоп позволяет увидеть по отдельности компоненты двойной системы, если угловое расстояние между компонентами не меньше, чем:

$$\Theta = 60''/120 = 0,5''.$$

Мы знаем, что годичный параллакс системы $0,05''$, это позволяет нам найти расстояние до двойной системы:

$$r = 1/\pi = 1/0,05 = 20 \text{ пк}.$$

Тогда из связи углового и линейного размера:

$$\Theta = 206265'' \cdot a/r, \text{ где } a - \text{линейное расстояние между компонентами.}$$

Найдем его (учтем, что $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.}$):

$$a = 0,5'' \cdot 20 \cdot 206265 / 206265'' = 10 \text{ а.е.}$$

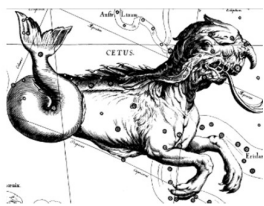
Полная масса двойной звезды $0,3M_{\odot} + 0,3M_{\odot} = 0,6M_{\odot}$.

Воспользуемся третьим обобщенным законом Кеплера. Будем сравнивать данную двойную систему с системой «Солнце-Земля»:

$$\frac{T_1^2(M_{\odot} + m)}{T_x^2(0,3M_{\odot} + 0,3M_{\odot})} = \frac{a_1^3}{a^3}, \Rightarrow 10^3 = \frac{T_x^2 0,6}{1}, \Rightarrow T_x = 40,8 \text{ лет} \approx 41 \text{ год}.$$

Критерии оценивания:

- 1) Определение расстояния до двойной системы (через параллакс) – 1 балл.
- 2) Определение фокусного расстояния телескопа – 1 балл.
- 3) Верное нахождение увеличения телескопа – 1 балл.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 50 баллов.



- 4) Верное нахождение углового расстояния между звездами – 2 балла.
- 5) Нахождение большой полуоси системы – 1 балл.
- 6) Использование 3-го обобщенного закона Кеплера – 1 балл.
- 7) Верный численный ответ – 1 балл.

Внимание! Задача может быть решена в общем виде, без промежуточных вычислений. В таком случае решение также оценивается в полной мере.

Итого максимум 8 баллов за задачу.

Задача 3. Температуры и светимости. (8 баллов).

Две звезды А и В имеют радиусы, относящиеся как $R_A:R_B=2:1$. Наблюдения показали, что поток излучения от звезды А на Земле в 32 раза меньше, чем от звезды В. Известно, что звезда А находится в 2 раза дальше от Земли, чем звезда В.

- 1) Определите отношение температур поверхностей этих звёзд T_A/T_B .
- 2) Найдите отношение светимостей этих звезд L_A/L_B .

Возможное решение:

Поток излучения от звезды обратно пропорционален квадрату расстояния до нее **(2 балла)**:

$$I = \frac{L}{4\pi d^2}.$$

По закону Стефана-Больцмана **(2 балла)**:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$

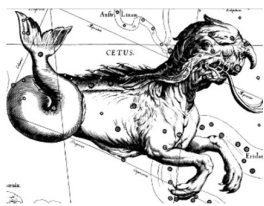
Тогда **(2 балла)**:

$$\frac{I_A}{I_B} = \frac{R_A^2 T_A^4 d_B^2}{R_B^2 T_B^4 d_A^2}, \Rightarrow \frac{1}{32} = 2^2 \cdot \frac{T_A^4}{T_B^4} \cdot \frac{1}{4}, \Rightarrow \frac{T_A}{T_B} = \frac{1}{\sqrt[4]{32}} \approx 0,42.$$

Согласно условию, радиус звезды А: $R_A = 2R_B$, тогда **(2 балла)**:

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{R_A^2 T_A^4}{R_B^2 T_B^4} = 4 \cdot \frac{1}{32} = \frac{1}{8}.$$

Итого максимум 8 баллов за задачу.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 50 баллов.



Задача 4. Наблюдаем Юпитер издалека (8 баллов).

С космического аппарата «Новые горизонты», находящегося на расстоянии 50 а.е. от Солнца, наблюдают Юпитер в верхнем соединении (относительно аппарата). Оцените видимую звёздную величину Юпитера для «Новых горизонтов». Среднее расстояние Юпитера от Солнца 5,2 а.е., видимая звёздная величина Юпитера в противостоянии с Земли примерно $-2,7^m$.

Возможное решение:

Расстояние от аппарата до Юпитера: $r_1 = 50 + 5,2 = 55,2$ а.е. **(1 балл)**

Расстояние от Земли до Юпитера в противостоянии: $r_2 = 5,2 - 1 = 4,2$ а.е. **(1 балл)**

Расстояния отличаются в $55,2/4,2 \approx 13$ раз, что соответствует различию в освещенности в $13^2 = 169$ раз. **(2 балла)**

По закону Погсона такое различие в освещенности соответствует различию в видимой звездной величине $\Delta m = 2,5 \lg(169) = 5,6^m$. **(2 балла)**

В условии сказано, что при наблюдении с Земли в противостоянии видимая звездная величина Юпитера $-2,7^m$. Значит, наблюдатель на космическом аппарате «Новые горизонты» увидит Юпитер, как объект с видимой звездной величиной примерно $2,9^m$ **(2 балла)**.

Итого максимум 8 баллов за задачу.

Задача 5. Наблюдаем Луну (8 баллов).

На какой максимальной высоте может кульминировать Луна в Уфе (широта $\varphi = 54^\circ 45'$), если наклонение плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики $i = 5^\circ 9'$. Укажите месяц и условие, когда Луну можно увидеть на максимальной высоте в верхней кульминации. Объясните причину. В каком созвездии находится в этот момент Солнце?

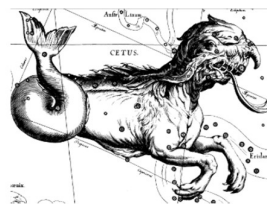
Возможное решение:

Луна движется вблизи эклиптики, но может отклоняться к северу или югу на угол от 0 до i **(1 балл)**. Максимальное северное склонение достигается, когда Луна находится в точке летнего солнцестояния (эклиптическая долгота $= 90^\circ$) и при этом имеет максимальную северную эклиптическую широту $+i$. В этом случае склонение **(2 балла)**:

$$\delta_{\max} = \varepsilon + i = 23^\circ 26' + 5^\circ 9' = 28^\circ 35'.$$

Поскольку $\delta_{\max} < \varphi$, Луна кульминирует к югу от зенита. Формула для высоты в верхней кульминации **(2 балла)**:

$$h_{\text{вк}} = 90^\circ - \varphi + \delta_{\max} = 90 - 54^\circ 45' + 28^\circ 35' = 63^\circ 50'.$$



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Чтобы увидеть Луну на такой высоте ночью, она должна быть близка к полнолунию и видна всю ночь. При этом для максимального склонения Луна должна находиться вблизи точки летнего солнцестояния. При этом в полнолуние Солнце находится в противоположной точке эклиптики, т.е. в точке зимнего солнцестояния. Это соответствует декабрю (**2 балла**).

В декабре Солнце находится в созвездии Стрельца (**1 балл**).

Итого максимум 8 баллов за задачу.

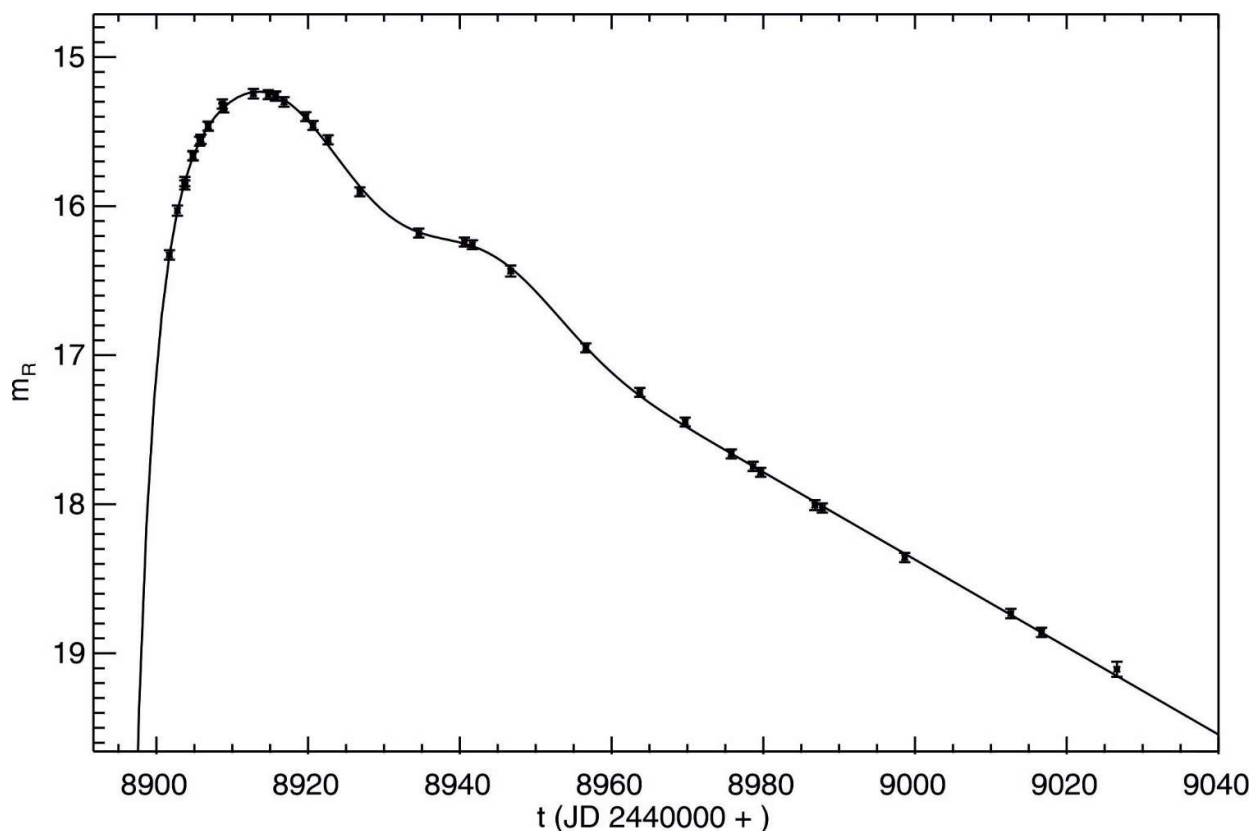
Задача 6. Блеск сверхновой (10 баллов).

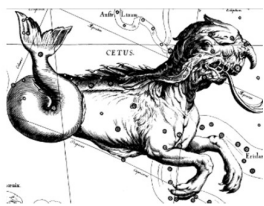
На графике представлена кривая блеска сверхновой (зависимость видимой звездной величины от времени). Согласно методу Псковского-Филлипса максимальная абсолютная звездная величина такой звезды определяется следующим образом:

$$M_{\max} = -21,726 + 2,698\Delta m_{15},$$

где Δm_{15} – величина падения блеска сверхновой через 15 дней после максимума.

Найдите расстояние до сверхновой. Оцените погрешность полученного расстояния.





**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 50 баллов.



Возможное решение:

Из графика определим, что максимальная видимая звездная величина сверхновой составляет $(15,2 \pm 0,1)^m$. **(1 балл за значение + 0,5 балла за погрешность)**

Определим, когда наступил максимум блеска. Получим примерно момент максимума: $(8915,0 \pm 2,5)$ дня. Для увеличения точности можно с помощью линейки разделить единичный отрезок на шкале времени пополам, в таком случае получим отсчет $(8912,5 \pm 1,5)$ дня. Погрешность – половина цены нового деления (1,25 дня), однако с учетом того, что линия не бесконечно тонкая, и у линейки существует погрешность (1 мм), зададим абсолютную погрешность 1,5 дня.

Через 15 дней после наступления максимума видимая звездная величина составит $(15,9 \pm 0,1)^m$. Таким образом, $\Delta m_{15} = (0,7 \pm 0,2)^m$. **(1 балл за значение + 0,5 балла за погрешность)**

Подставим полученное значение в формулу, приведенную в условии **(2 балла)**:

$$M_{max} = -21,726 + 2,698 \cdot 0,7 \approx -19,84^m.$$

Относительная погрешность полученной величины равна относительной погрешности Δm_{15} , т.е. $\varepsilon = \frac{0,2}{0,7} = 0,286$ или 28,6% **(1 балл)**.

Чтобы найти расстояние, вспомним формулу **(1 балл)**:

$$M_{max} = m_{max} + 5 - 5 \lg(r).$$

Тогда $\lg(r) = 8,008$, откуда $r \approx 10^8$ пк = 100 Мпк. **(2 балла)**

Оценим погрешность наиболее простым способом, учитывая, что относительная погрешность максимальной абсолютной звездной величины 28,6%, а относительная погрешность m_{max} равна $0,1/15,2 \approx 0,007$ или 0,7%. Тогда можно считать, что относительная погрешность r примерно равна $28,6\% + 0,7\% = 29,3\%$. **(1 балл)**

Важно! Численные значения могут изменяться в зависимости от измерений участника. Необходимо пересчитать полученные значения с учетом измерений участника.

Важно! Погрешность расстояния может быть оценена другими способами, например, путем вывода формулы дифференциальным методом. Любые адекватные методы оценки погрешности конечного результата, не приводящие к абсурдным значениям, стоит оценивать равнозначно.

Итого максимум 10 баллов за задачу.