

Условия и решение задач
городской олимпиады по астрономии, астрофизике
и физике космоса им. С. А. Жевакина
8 февраля 2026 г.

Каждая задача оценивается в 7 баллов

1. Выберите наиболее точный ответ на каждый вопрос.

- | | |
|--|---|
| <p>а) Как называют большие тёмные равнины на поверхности Луны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) плиты; 2) кратеры; 3) моря; 4) озёра? | <p>б) Смену времён года обуславливает:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) приближение и удаление Земли по отношению к Солнцу; 2) прецессия земной оси; 3) прецессия земной орбиты; 4) наклон земной оси к эклиптике? |
| <p>в) Главный пояс астероидов расположен между орбитами:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Венеры и Земли; 2) Земли и Марса; 3) Марса и Юпитера; 4) Юпитера и Сатурна? | <p>г) Равноденствие (когда день равен ночи) происходит вблизи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) экватора; 2) одного из полюсов; 3) на нулевом меридиане; 4) в обоих полушариях? |
| <p>д) Самая внешняя часть атмосферы Солнца — это:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) корона; 2) хромосфера; 3) фотосфера? | <p>е) Астрономический символ Сатурна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ☉; 2) ♃; 3) ☊; 4) ♄? |
- ж) Полярная звезда не изображена на флаге:
- 1) штата Аляска (США);
 - 2) Чукотского автономного округа (Россия);
 - 3) территории Нунавут (Канада)?

2. 1 октября 1672 году Джованни Доминико Кассини в Париже (географические координаты города $48,8^\circ$ с. ш., $2,3^\circ$ в. д.) совместно с Жаном Рише в городе Кайенне во Французской Гвиане ($4,9^\circ$ с. ш., $52,3^\circ$ з. д.) измерили параллакс Марса относительно неподвижных звёзд в момент противостояния (когда Земля пересекает линию Солнце — Марс). Наблюдения проводились в свою астрономическую полночь каждым из астрономов. Результат составил $12,5''$. Определите минимальное расстояние до Марса в километрах, если радиус Земли $R_3 = 6\,400$ км.

3. Луна вращается вокруг Земли и одновременно вместе с Землёй вращается вокруг Солнца. Есть ли на траектории движения Луны относительно Солнца точки самопересечения (в течение полугода)? Радиус орбиты Земли $a_3 = 150$ млн. км, а Луна удалена от Земли на расстояние $a_L = 380$ тыс. км и делает один оборот вокруг Земли примерно за месяц. Все орбиты считать лежащими в одной плоскости.

4. Что больше и во сколько раз: кинетическая или потенциальная энергия Международной космической станции в поле тяжести Земли, отсчитываемая относительно поверхности Земли. Высота орбиты станции $h = 420$ км, радиус Земли $R_3 = 6\,400$ км, ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

1. Выберите наиболее точный ответ на каждый вопрос.

- | | |
|--|---|
| <p>а) Южный полюс мира находится в созвездии:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Компас; 2) Октант; 3) Южный треугольник; 4) Южный Крест? | <p>б) Самая высокогорная обсерватория расположена:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) на Гавайях; 2) в Китае; 3) в Непале; 4) в Чили? |
| <p>в) Первый аппарат, мягко спустившийся на поверхность Марса:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) «Марс-3» (СССР, 1971); 2) «Викинг-1» (США, 1976); 3) «Вояджер-2» (США, 1977); 4) «Оппортюнити» (США, 2004)? | <p>г) Какая единица измерения примерно равна расстоянию от Земли до Солнца:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) астрономическая единица; 2) единичное красное смещение; 3) парсек; 4) световой год? |
| <p>д) Возраст Вселенной около:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 260 млн лет; 2) 4 млрд лет; 3) 14 млрд лет; 4) 1,35 трлн лет? | <p>е) Звезда вдвое массивнее Солнца пребывает на главной последовательности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) в 2 раза дольше, чем Солнце; 2) столько же, как Солнце; 3) значительно меньше, чем Солнце; 4) ответ сильно зависит от эпохи рождения звезды? |
- ж) Земные полярные сияния чаще наблюдают вблизи полюсов, а не на экваторе, потому что:
- 1) там темнее полярной ночью;
 - 2) магнитное поле Земли не пускает заряженные частицы к экватору;
 - 3) холодный воздух светится ярче;
 - 4) вблизи экватора атмосфера слишком плотная?

2. Между восточной квадратурой и последующей западной квадратурой некоторой планеты проходит на 28 % больше времени, чем между её западной и последующей восточной квадратурой. Что это за планета? Орбиты планет считать круговыми. Расстояния от Солнца до Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна составляют 0,39; 0,72; 1,52; 5,2 и 9,5 а. е. Квадратурой называют расположение планеты относительно Земли под прямым углом к линии Солнце — Земля.

3. Оцените с точностью до 10 %, с каким периодом кольца Сатурна исчезают для земного наблюдателя, если радиус орбиты Сатурна составляет 9,5 а. е..

4. Оцените, сколько метров воды в год испарилось бы с поверхности Тихого океана в районе экватора, если бы вся энергия падающего солнечного излучения расходовалась на испарение. Плотность потока энергии солнечного излучения на орбите Земли составляет 1,4 кВт/м², удельная теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг.

1. Выберите наиболее точный ответ на каждый вопрос.

- а) Какой межзвёздный объект обнаружили в Солнечной системе в 2025 году:
- 1) 4I/LINEAR;
 - 2) 3I/ATLAS;
 - 3) 2I/Borisov;
 - 4) 1I/Оумуамуа?
- б) Экзопланета обращается вокруг звезды солнечной массы на расстоянии 4 а. е. Оцените период обращения:
- 1) 2 года;
 - 2) 4 года;
 - 3) 8 лет;
 - 4) 16 лет?
- в) В термоядерных реакциях в ядре Солнца в основном образуется:
- 1) водород;
 - 2) гелий;
 - 3) железо;
 - 4) углерод?
- г) От слияния каких объектов пока не зарегистрировали гравитационно-волновой сигнал:
- 1) белых карликов;
 - 2) нейтронных звезд;
 - 3) чёрных дыр звёздной массы?
- д) Две звезды с одинаковой абсолютной светимостью удалены от нас на расстояние 10 пк и 40 пк. Во сколько раз отличаются наблюдаемые светимости звезд:
- 1) в 2 раза;
 - 2) в 4 раза;
 - 3) в 8 раз;
 - 4) в 16 раз?
- е) В конце своей эволюции Солнце превратится:
- 1) в белый карлик;
 - 2) в гравитационные волны;
 - 3) в нейтронную звезду;
 - 4) в чёрную дыру?
- ж) Реликтовое излучение — это:
- 1) излучение первичных звезд;
 - 2) излучение от слияния белых карликов;
 - 3) тепловое излучение, равномерно заполняющее всю Вселенную;
 - 4) поток космических лучей от Большого взрыва?

2. Развёртываемые в последние годы системы спутникового интернета представляют собой многочисленную группу спутников на низких околоземных орбитах. Абонент соединяется с одним из спутников, расположенным над местным горизонтом. Какое максимальное время стационарный терминал на поверхности Земли может использовать канал связи с одним конкретным спутником, если высота орбиты аппаратов $h = 500$ км, радиус Земли $R_З = 6400$ км, ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

3. а) Оцените массу сферической галактики радиуса $r = 50$ кпк, если скорость вращения звезд на её периферии $v = 200$ км/с. Ответ выразите в массах Солнца $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ кг. Гравитационная постоянная $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ м³/(кг · с²), 1 пк = $3,1 \cdot 10^{16}$ м (6 баллов). б) Какую долю найденной массы составляет невидимая тёмная материя, если масса видимого вещества $M_{\text{вид}} = 10^{11} M_\odot$ (1 балл)?

4. Чтобы защитить космический аппарат от нагрева излучением Солнца, применяют плоские экраны из фольги, закрывающие систему от Солнца подобно шубе. Нередко используют не один, а стопку таких экранов, расположенных параллельно друг другу (как несколько слоёв одежды). Будем считать, что каждый экран отражает назад долю $1 - \alpha$ падающего на него излучения с соответствующей стороны, а долю α поглощает и далее

переизлучает его симметрично в обе стороны по нормали от себя. Во сколько раз снижает поток солнечного излучения, падающего на космический аппарат, стопка из 2 экранов? Собственным излучением космического аппарата пренебречь.

1. а) 3) Моря.
 б) 4) Наклон земной оси к эклиптике.
 в) 3) Марса и Юпитера.
 г) 4) В обоих полушариях.
 д) 1) Корона.
 е) 2) η .
 ж) 2) Чукотского автономного округа (Россия).

2. 70 млн км.

В наблюдениях параллактическое смещение Марса на небесной сфере определялось разностью расстояний $h_{\Pi} - h_{\text{К}}$ Парижа и Кайенны до прямой Солнце — Земля — Марс. Наблюдения проводились близко к дате осеннего равноденствия. (Примечание. Точная дата 01.10.1672 обусловлена прохождением Марса близко к одной из звёзд на небесной сфере — ψ^2 Водолея, что и позволило измерить очень малый параллакс. На близкое прохождение обратил внимание Джон Фламстед, что и учёл Кассини при планировании наблюдений.) Благодаря равноденствию земная ось была ориентирована почти перпендикулярно линии Солнце — Земля — Марс (хотя и наклонена под постоянным углом к эклиптике $23,5^\circ$). В указанной конфигурации Париж и Кайенна сближались с прямой Солнце — Земля — Марс в своём суточном вращении на Земле на минимальное расстояние $h_{\Pi} = R_3 \sin \Theta_{\Pi}$ и $h_{\text{К}} = R_3 \sin \Theta_{\text{К}}$ в свою полночь, так что искомая разность расстояний

$$h_{\Pi} - h_{\text{К}} = R_3 (\sin \Theta_{\Pi} - \sin \Theta_{\text{К}}),$$

где $R_3 = 6400$ км — радиус Земли, а $\Theta_{\Pi} = 48,8^\circ$ и $\Theta_{\text{К}} = 4,9^\circ$ — северная широта городов.

Расстояние до Марса L вычисляется по стандартной формуле d/ϕ для параллактического смещения, где вместо диаметра орбиты Земли вокруг Солнца d следует использовать расстояние $h = h_{\Pi} - h_{\text{К}}$:

$$L = \frac{h}{\phi} = \frac{R_3 (\sin \Theta_{\Pi} - \sin \Theta_{\text{К}})}{\phi} = \frac{6400 \text{ км} [\sin(48,8^\circ) - \sin(4,9^\circ)]}{12,5'' \cdot \pi/180^\circ/60'/60''} = 70,4 \text{ млн км},$$

где $\phi = 12,5''$ — измеренный астрономами параллакс Марса; численные коэффициенты в знаменателе отражают пересчёт угла ϕ из секунд в радианы.

Примечание. Часы астрономов в Париже и Кайенне синхронизовались по положению спутников Юпитера. Важно было также учесть регулярное перемещение Марса по небесной сфере, не связанное с параллаксом. Измерение расстояния до Марса позволило указать близкое к современному расстояние от Земли до Солнца, поскольку отношение радиусов орбит планет 1,52 было известно из геометрии (например, по угловому отклонению Марса от линии Солнце — Земля в моменты квадратур).

3. Нет.

Наличие точек самопересечения означает, что азимутальная скорость Луны относительно Солнца может менять знак. Такое возможно, только если скорость вращения Луны вокруг Земли больше скорости вращения системы Земля — Луна вокруг Солнца. Длина орбиты Земли $L_3 = 2\pi a_3 = 9,4 \cdot 10^8$ км. Планета проходит это расстояние за один год,

длительность которого в секундах $T_3 = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,2 \cdot 10^7$ с. Соответственно, скорость Земли $V_3 = L_3/T_3 = 30$ км/с. В свою очередь длина орбиты Луны вокруг Земли $L_{\text{Л}} = 2\pi a_{\text{Л}} = 2,4 \cdot 10^6$ км. Луна проходит это расстояние за 28 суток, длительность которых в секундах $T_{\text{Л}} = 28 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 2,4 \cdot 10^6$ с. Скорость Луны относительно Земли $V_{\text{Л}} = L_{\text{Л}}/T_{\text{Л}} = 1$ км/с. Скорость $V_{\text{Л}} < V_3$, поэтому самопересечений траектории нет.

4. Кинетическая энергия превышает потенциальную примерно в 8 раз.

Поскольку высота орбиты станции $h = 420$ км существенно меньше радиуса Земли $R_3 = 6\,400$ км, то центростремительное ускорение $v^2/(R_3+h) \approx v^2/R_3$ станции на круговой орбите примерно совпадает с ускорением свободного падения на поверхности Земли g . Следовательно, скорость полёта станции $v = \sqrt{gR_3} \approx \sqrt{0,0098 \text{ км/с}^2 \cdot 6\,400 \text{ км}} \approx 8$ км/с близка к первой космической скорости. Найдём кинетическую энергию станции $K = mv^2/2 = mgR_3/2$, потенциальную энергию $U = mgh$ и отношение данных величин:

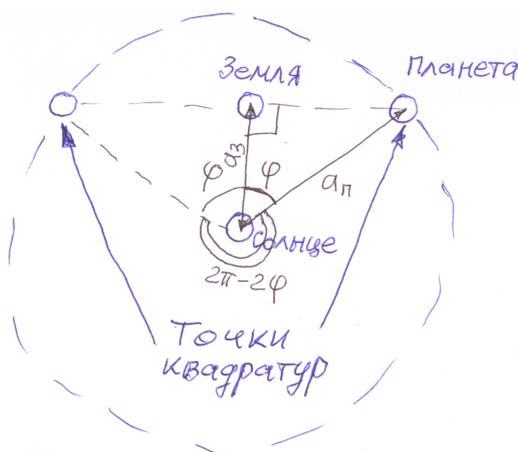
$$\frac{K}{U} = \frac{mgR_3/2}{mgh} = \frac{R_3}{2h} = \frac{6\,400 \text{ км}}{2 \cdot 420 \text{ км}} = 7,6 \approx 8,$$

которое существенно превышает единицу в силу низкой высоты полёта h по сравнению с радиусом Земли R_3 .

Решение задач 10 класса

1. а) 2) Октант.
- б) 4) В Чили.
- в) 1) «Марс-3» (СССР, 1971).
- г) 1) Астрономическая единица.
- д) 3) 14 млрд лет.
- е) 3) Значительно меньше, чем Солнце.
- ж) 2) Магнитное поле Земли не пускает заряженные частицы к экватору.

2. Юпитер.



Квадратуры достижимы только для внешних планет по отношению к Земле. В квадратуре Солнце, Земля и планета образуют прямоугольный треугольник, в котором один из катетов равен радиусу орбиты Земли $a_З$, а гипотенуза — расстоянию от Солнца до планеты $a_П$. Угол Земля — Солнце — планета составляет величину:

$$\varphi = \arccos \frac{a_З}{a_П}.$$

Рассматриваем динамику систему во вращающейся системе координат x, y в плоскости эклиптики с центром на Солнце и полярной осью x в виде подвижного радиуса Солнце — Земля. В указанной системе планета сохраняет равномерное движение по своей орбите, только угловая скорость её вращения уменьшается на угловую скорость Земли. Тогда время между квадратурами определяется прохождением планетой дуги 2φ на своей круговой орбите и сопряжённой ей дуги $2\pi - 2\varphi$. Заданное в условии задачи отношение временных интервалов $k = \tau_2/\tau_1 = 1,28$ между квадратурами оказывается равным отношению длин указанных дуг:

$$k = \frac{2\pi - 2\varphi}{2\varphi} = \frac{\pi}{\varphi} - 1 = \frac{\pi}{\arccos(a_З/a_П)} - 1.$$

Разрешаем последнее равенство относительно отношения радиусов орбит

$$\frac{a_П}{a_З} = \frac{1}{\cos[\pi/(k+1)]} = \frac{1}{\cos[\pi/(1,28+1)]} = 5,2.$$

Найденная величина соответствует Юпитеру.

3. 15 лет.

Находим период обращения Сатурна вокруг Солнца $T_П$ с помощью третьего закона

Кеплера, учитывая, что земной период равен одному году, а радиус земной орбиты 1 а. е.:

$$T_h = 9,5^{3/2} \text{ лет} = 29 \text{ лет.}$$

Годовой период обращения Земли составляет менее 4 % от найденного интервала T_h , что более чем в 2 раза ниже требуемой точности решения до 10 %. Поэтому в дальнейшем решении пренебрегаем поправками от ненулевого радиуса орбиты Земли: считаем Землю расположенной в центре Солнечной системы.

Плоскость колец Сатурна неподвижна относительно направлений на удалённые звёзды. Поэтому за один период обращения Сатурна плоскость его колец дважды выстраиваются касательно к лучу зрения земного астронома. Соответственно, кольца исчезают для землянина с периодом $T_h/2 \approx 15$ лет.

4. 9,6 м.

В полдень на участок земной площади S за время t падает излучение с энергией $E = JSt$, где $J = 1,4 \text{ кВт/м}^2$ — плотность потока солнечного излучения. Ночью Солнце заходит за горизонт и мощность падающего излучения падает до нуля. Поэтому годовая энергия падающего излучения, усреднённая по дням и ночам, составляет величину порядка $\langle E \rangle = JSt/2$ (более строго JSt/π), где $t = 1$ год.

Объём столба воды высотой h , испарившейся с той же площадки, составит величину $V = Sh$, а его масса $m = \rho V = \rho Sh$, где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды. Для испарения воды потребуется энергия $Q = \lambda m = \lambda \rho Sh$, где $\lambda = 2,3 \text{ МДж/кг}$ — удельная теплота парообразования.

Приравнивая энергии $\langle E \rangle = JSt/2$ и $Q = \lambda \rho Sh$, находим высоту столба $h = Jt/(2\lambda\rho) = 1400 \cdot (365 \cdot 24 \cdot 3600)/(2 \cdot 2300000 \cdot 1000) \text{ м} \approx 9,6 \text{ м}$.

Найденная высота совпадает по порядку величины с годовым количеством осадков 12,5 м/год, которые выпадают назад на Гавайских островах.

1. а) 2) 3I/ATLAS.

б) 3) 8 лет.

в) 2) Гелий.

г) 1) Белых карликов.

д) 4) В 16 раз.

е) 1) В белый карлик.

ж) 3) Тепловое излучение, равномерно заполняющее всю Вселенную.

2. 11 мин.

В силу низкой орбиты спутника по сравнению с радиусом Земли, аппарат движется на видимом абонентом участке примерно в однородном поле силы тяжести. Поэтому видимый абонентом короткий участок круговой орбиты аппроксимируем «настильной» параболической траекторией с равномерным перемещением вдоль плоскости местного горизонта абонента и равноускоренным движением вдоль местной вертикали с ускорением свободного падения g : спутник движется как снаряд, выпущенный по настильной траектории с одной точки горизонта, достигает вершины своей параболической траектории над абонентом и далее падает за горизонт. Для указанного равноускоренного движения подъём до вершины параболы с высотой $h = g\tau_{1/2}^2/2$ занимает время $\tau_{1/2} = \sqrt{2h/g}$. В итоге абонент видит спутник на подъёме и последующем спуске за горизонт в течение времени

$$2\tau_{1/2} = 2\sqrt{2h/g} = 2\sqrt{2 \cdot 500 \text{ км} / (0,0098 \text{ км/с}^2)} = 640 \text{ с} \approx 11 \text{ мин.}$$

Здесь высота параболы принята равной высоте орбиты спутника с целью расчёта максимального времени видимости, когда спутник проходит в зените над абонентом.

3. а) $4,6 \cdot 10^{11} M_{\odot}$; б) 78 %.

Центростремительное ускорение звёзд на периферии галактики v^2/r совпадает с ускорением свободного падения в той же области GM/r^2 , что определяет искомую массу галактики

$$M = \frac{v^2 r}{G} = \frac{(2 \cdot 10^5 \text{ м/с})^2 (50\,000 \cdot 3,1 \cdot 10^{16} \text{ м})}{6,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)} = 9,3 \cdot 10^{41} \text{ кг,}$$

или в массах Солнца

$$\frac{M}{M_{\odot}} = \frac{9,3 \cdot 10^{41} \text{ кг}}{2 \cdot 10^{30} \text{ кг}} = 4,6 \cdot 10^{11}. \quad (1)$$

Массу тёмного вещества $M_{\text{тёмн}} = M - M_{\text{вид}}$ получаем вычитанием массы видимого вещества $M_{\text{вид}} = 10^{11} M_{\odot}$ из найденной массы (1), так что искомая доля тёмного вещества

$$\frac{M_{\text{тёмн}}}{M} = \frac{M - M_{\text{вид}}}{M} = 1 - \frac{M_{\text{вид}}}{M} = 1 - \frac{10^{11}}{4,6 \cdot 10^{11}} = 0,78.$$

4. $\alpha J_{\odot} / (4 - \alpha)$.

Пусть внутренний экран ($N^{\circ} 2$) излучает в направлении аппарата поток $J_{2 \rightarrow a}$. Последний получается поглощением доли α потока $J_{1 \rightarrow 2}$ от внешнего экрана ($N^{\circ} 1$), идущего в сторону внутреннего экрана, и переизлучением его как к аппарату, так и назад к внешнему экрану:

$$J_{2 \rightarrow a} = \alpha J_{1 \rightarrow 2} / 2. \quad (2)$$

В свою очередь, поток $J_{2 \rightarrow 1}$ назад от внутреннего экрана (№ 2) к внешнему экрану (№ 1) состоит из такого же по величине потока (2) и отражённого назад потока $(1 - \alpha) J_{1 \rightarrow 2}$ от внешнего экрана (№ 1):

$$J_{2 \rightarrow 1} = \alpha J_{1 \rightarrow 2} / 2 + (1 - \alpha) J_{1 \rightarrow 2} = (1 - \alpha / 2) J_{1 \rightarrow 2}. \quad (3)$$

Наконец поток $J_{1 \rightarrow 2}$ от внешнего (№ 1) к внутреннему (№ 2) экрану получается отражением назад доли $1 - \alpha$ потока $J_{2 \rightarrow 1}$ от внутреннего экрана, а также поглощением с двухсторонним переизлучением доли α исходного солнечного потока J_{\odot} и того же потока $J_{2 \rightarrow 1}$:

$$J_{1 \rightarrow 2} = (1 - \alpha) J_{2 \rightarrow 1} + \alpha (J_{\odot} + J_{2 \rightarrow 1}) / 2 = (1 - \alpha / 2) J_{2 \rightarrow 1} + \alpha J_{\odot} / 2. \quad (4)$$

Последовательно подставляем выражение (3) в равенство (4):

$$J_{1 \rightarrow 2} = (1 - \alpha / 2) (1 - \alpha / 2) J_{1 \rightarrow 2} + \alpha J_{\odot} / 2,$$

что определяет необходимый поток

$$J_{1 \rightarrow 2} = \frac{\alpha J_{\odot} / 2}{1 - (1 - \alpha / 2)^2}$$

для расчёта искомой величины (2):

$$J_{2 \rightarrow a} = \frac{(\alpha / 2)^2 J_{\odot}}{1 - (1 - \alpha / 2)^2} = \frac{\alpha J_{\odot}}{4 - \alpha}. \quad (5)$$