

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по
астрономии**

2025-2026 уч. год

11 класс

Возможные решения

1. Комета Галлея обращается вокруг Солнца за 76 лет, а планета Нептун за 165 лет. Кто из них более удален от Солнца в точке афелия своей орбиты?

Решение.

Орбита кометы сильно вытянута, поэтому в афелии она находится на расстоянии около a_k от Солнца, а планета на расстоянии a_n (a - большая полуось орбиты). (2 балла) Значит отношение расстояний в афелии, найдём из Третьего закона Кеплера:

$$\frac{2a_k}{a_n} = 2 \left(\frac{T_k}{T_n} \right)^{2/3} = 2 \left(\frac{76}{165} \right)^{2/3} = 1,2 \quad (4 \text{ балла})$$

Комета Галлея в афелии удаляется за орбиту Нептуна. (2 балла)

Максимум за задачу – 8 баллов.

2. Спектральные наблюдения показывают, что лучевая скорость Регула (α Льва) относительно Земли изменяется от $V_1 = -27$ км/с до $V_2 = 33$ км/с с периодом в один год (знак минус у лучевой скорости означает приближение). Учитывая, что эта звезда находится на эклиптике, и что расстояние от Земли до Солнца составляет $1,5 \cdot 10^{11}$ м, вычислить постоянную тяготения. Орбиту считать круговой, а массой Земли по сравнению с массой Солнца ($M_C = 2 \cdot 10^{30}$ кг) пренебречь.

Решение.

Очевидно, что указанное изменение лучевой скорости есть следствие орбитального движения Земли. Если звезда движется по отношению к Солнцу с лучевой скоростью V_r , а скорость движения Земли по орбите V , то при приближении Земли к звезде их относительная скорость будет

$$V_1 = V_r - V$$

А через полгода Земля уже удаляется от звезды и скорость составит

$$V_2 = V_r + V$$

Отсюда получим

$$V = \frac{V_2 - V_1}{2}$$

Значит орбитальная скорость Земли $V = (33 - (-27))/2 = 30$ км/с. (4 балла)

Для кругового движения Земли вокруг Солнца ее центростремительное ускорение равно гравитационному:

$$\frac{V^2}{a} = \frac{GM_C}{a^2}$$

Отсюда постоянная тяготения

$$G = \frac{aV^2}{M_C} = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \quad (4 \text{ балла})$$

Максимум за задачу – 8 баллов.

3. Каковы угловой диаметр и звездная величина Солнца для наблюдателя на Плуtone и во сколько раз освещение этой планеты Солнцем отличается от освещения Земли полной Луной? Исходные данные: угловой диаметр Солнца для наблюдателя на Земле 32', расстояние Плутона от Солнца 40 а.е., видимая звездная величина Солнца $m_C = -26,7$ и Луны $m_L = -12,6$.

Решение.

Ввиду малости углов угловой диаметр Солнца определим как $32'/40 = 48''$. Диск Солнца не будет различим невооруженным глазом. Пусть E_C - освещенность, создаваемая Солнцем на Земле, и E_{PL} - освещенность, создаваемая Солнцем на Плуtone, тогда $E_C / E_{PL} = 40^2 = 1600$. (2 балла)

С другой стороны,

$$\frac{E_C}{E_{PL}} = 2,512^{(m_{PL} - m_C)}$$

где m_{pl} - звездная величина Солнца, наблюдаемого с Плутона. Тогда для m_{pl} имеем уравнение:

$$2,512^{(m_{pl}+26,7)} = 1600$$

Отсюда, логарифмируя, получаем $m_{pl} = -18,6$. (4 балла)

Разность блеска Солнца на Плутоне и полной Луны на Земле составляет

$$m_C - m_{PL} = 6 \text{ звездных величин}$$

Значит разность освещенностей составит $2,512^6 \sim 250$ раз в пользу Солнца на Плутоне. Значит Солнце освещает поверхность Плутона как 250 полных Лун освещают поверхность Земли. (2 балла)

Максимум за задачу – 8 баллов.

4. Как далеко должны быть расположены на Земле два места с тем, чтобы в любой день года в любой час Солнце хотя бы в одном из них было над горизонтом или на горизонте? Каковы координаты второй точки, если первая — Новокузнецк ($53^\circ 45'$ с.ш., $87^\circ 10'$ в.д.)?

Решение.

$$\varphi_1 = 53^\circ 45', \lambda_1 = 87^\circ 10'. \varphi_2 = ? \lambda_2 = ?$$

1. Солнце всегда освещает половину Земли. На этой, освещенной, половине Солнце в любой точке находится над горизонтом. А на линии — большой окружности, разделяющей освещенную и неосвещенную части, Солнце находится на горизонте. Таким образом, точки с заданными свойствами лежат на концах любого диаметра Земли. (4 балла)

$$2. \varphi_2 = -\varphi_1 = -53^\circ 45' \text{ (с.ш.)} = 53^\circ 45' \text{ (ю.ш.)} \quad (2 \text{ балла})$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + 180^\circ = 87^\circ 10' + 180^\circ = 267^\circ 10' \text{ (в.д.)} = 360^\circ - 267^\circ 10' = 92^\circ 50' \text{ (з.д.)} \quad (2 \text{ балла})$$

Максимум за задачу – 8 баллов

5. Существует предположение, что периодичность активности Солнца связана с приливным воздействием на него планет. Наибольшее приливное влияние Солнце испытывает со стороны Юпитера и Венеры. Определите, через какой промежуток времени на солнечной поверхности повторяются приливы максимальной высоты. Близок ли этот промежуток времени к продолжительности цикла солнечной активности? (орбитальный период Венеры 0,62 года, орбитальный период Юпитера 11,86 года)

Решение.

Учитывая, что приливное влияние планеты возбуждает на Солнце два диаметрально противоположных "горба", можно заключить, что максимальная высота приливов бывает в те моменты, когда обе планеты и Солнце располагаются на одной прямой (тогда "горбы" складываются друг с другом). Период (Т) между этими моментами есть время между противостоянием и соединением Венеры и Юпитера. (2 балла) Найдем его, используя уравнение синодического движения:

$$\frac{1}{2T} = \frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_{Ю}}$$

где T_B - орбитальный период Венеры (0,62 года) и $T_{Ю}$ - орбитальный период Юпитера (11,86 года). (2 балла) Тогда $T = 0,33$ земного года или 4 земных месяца. (2 балла) Ясно, что 11-летний и (более фундаментальный) 22-летний циклы солнечной активности нельзя объяснить приливным влиянием планет на Солнце. (2 балла)

Максимум за задачу – 8 баллов

6. Сверхновая, вспыхнувшая в некоторой галактике, в максимуме блеска имела светимость $L = 2,5 \cdot 10^9$ светимостей Солнца. На сколько звездных величин для наблюдателя на Земле она была слабее этой галактики, если галактика располагается на расстоянии 20 Мпк и имеет видимую звездную величину $m = +11^m$?

Решение.

Абсолютная звездная величина сверхновой равна

$$M = M_{\odot} - 2,5 \lg \frac{L}{L_{\odot}} \approx -18^m,5 \text{ (4 балла)}$$

Тогда видимая звездная величина сверхновой на таком расстоянии равна

$$m = M - 5 + 5 \lg r \approx 13^m,$$

разность звездных величин составляет $13^m - 11^m = 2^m$. (4 балла)

Максимум за задачу – 8 баллов

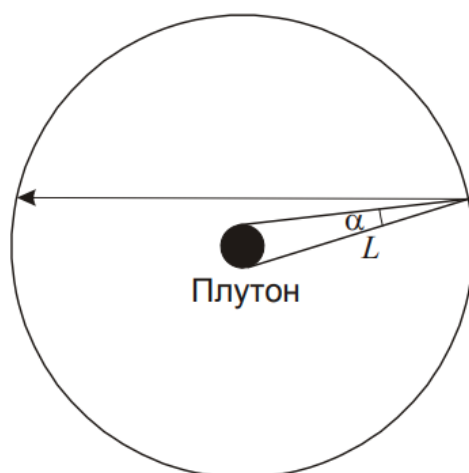
7. Когда межпланетная станция New Horizons пролетала около Плутона (радиус 1190 км) на расстоянии 33 а.е. от Солнца, угловой диаметр Плутона был больше одного градуса всего около 5 часов. В середине этого интервала угловой диаметр Плутона достиг 10° . Сможет ли эта межпланетная станция вылететь из Солнечной системы? Оцените, за какое время станция долетит до орбиты тела 2014 MU69, если радиус этой орбиты равен 44 астрономическим единицам. Орбиту этого тела можно считать круговой.

Решение.

Определим расстояние L , с которого Плутон виден как диск с угловым диаметром α :

$$L = \frac{2R}{\sin \alpha} = 135000 \text{ км}$$

Если считать траекторию аппарата около Плутона прямой, проходящей вблизи Плутона (на это указывает большой угловой диаметр в середине интервала), а его скорость v – постоянной, то она будет равна $2L/t = 54000$ км/ч или 15 км/с. Это существенно больше второй космической скорости даже на поверхности Плутона. Поэтому мы можем считать, что притяжение самого Плутона не оказало существенного влияния на скорость аппарата. (2 балла)



Сравним теперь полученную скорость (относительно Плутона) со скоростью движения по параболической орбите на таком расстоянии от Солнца a_1 (выраженном в астрономических единицах):

$$v_1 = v_0 \sqrt{\frac{2}{a_1}} = 7,3 \text{ км/с} \quad (2 \text{ балла})$$

Здесь v_0 – круговая скорость на орбите Земли. Полученная скорость вдвое меньше скорости "Новых Горизонтов". Вне зависимости от направления движения относительно Плутона гелиоцентрическая скорость аппарата больше второй космической, и он может покинуть Солнечную систему.

Обратим внимание, что аппарат, имея столь высокую скорость, прилетел из внутренних областей Солнечной системы, с Земли. Следовательно, аппарат движется вблизи Плутона в направлении, близком к радиальному (от Солнца), перпендикулярно движению самого Плутона. Его гелиоцентрическая скорость мало отличается от плутоно-центрической и близка к v . Движение от Плутона к астероиду 2014 MU69 будет происходить по прямой линии с практически постоянной скоростью. Это займет время .

$$t = \frac{a_2 - a_1}{v} = 3,5 \text{ года} \quad (4 \text{ балла})$$

Максимум за задачу – 8 баллов

8. Какие интересные объекты видны сегодня ночью в телескоп диаметром 60 мм с увеличением в 40 раз?

Решение.

Диаметр объектива в 10 раз превышает диаметр зрачка глаза ночью, значит использованное увеличение больше равно-зрачкового и в глаз попадет приблизительно в 100 раз больше света, чем без телескопа. Это даст выигрыш на 5^m и глазу станут доступны звезды примерно до 11^m . Для разрешающей способности глаза с учетом увеличения телескопа получим:

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{100''}{40} = 2,5'' \text{ (2 балла)}$$

а дифракционное разрешение объектива составляет

$$\alpha_0 = \frac{14''}{6 \text{ см}} \simeq 2,3'' \text{ (2 балла)}$$

Значит, реальное угловое разрешение составит около $3''$. Поскольку окуляры, в зависимости от их конструкции, имеют поле зрения от 20^0 до 40^0 поле зрения телескопа, учитывая его увеличение, может быть от $0,5^0$ до 1^0 . (2 балла) Такой телескоп удобен для наблюдения Луны и планет, рассеянных скоплений, многих двойных звезд, ярких эмиссионных туманностей и некоторых близких галактик. (2 балла)

Максимум за задачу – 8 баллов