

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

Муниципальный этап, теоретический тур

2022/2023 учебный год

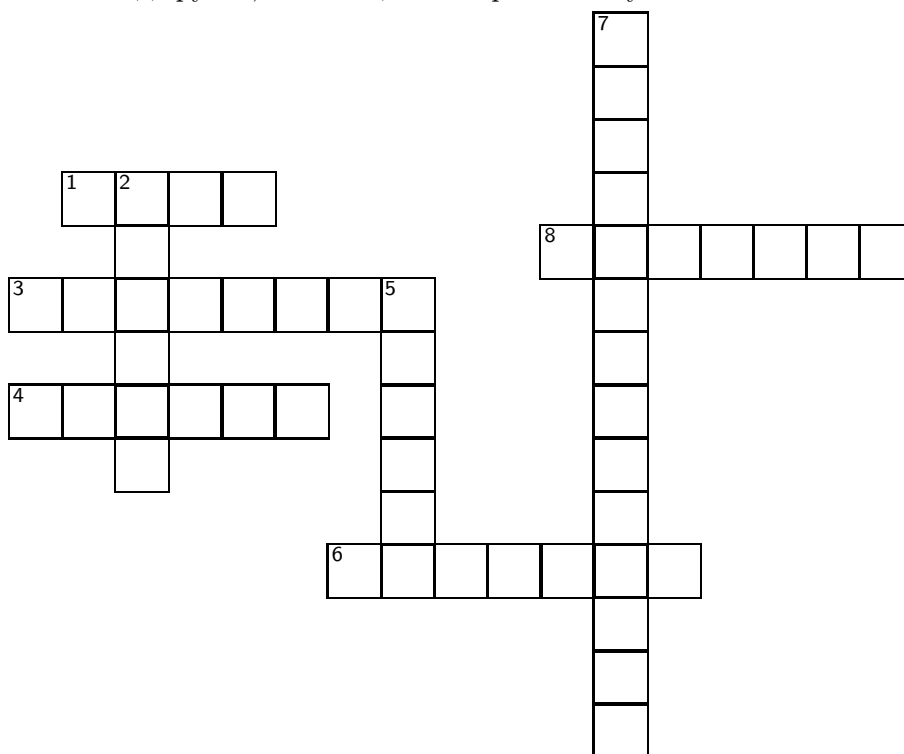
10 класс

Решения задач и критерии их оценивания

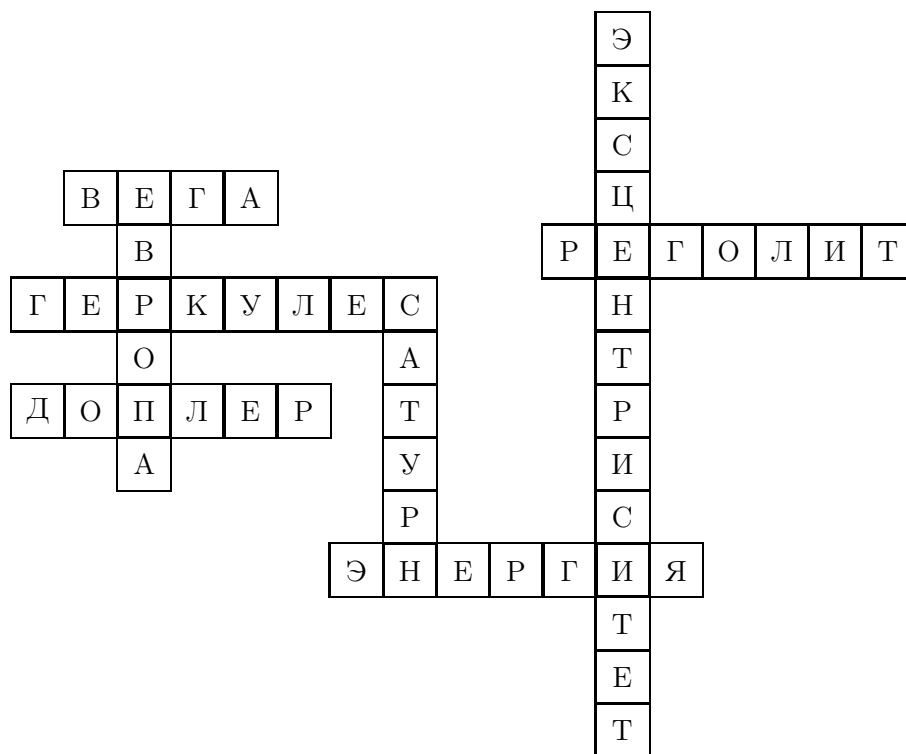
№ 1. «Кроссворд-ревью для 10-го класса»

Условие. Ответьте на следующие вопросы, заполнив ниже представленный кроссворд:

1. Как называется третья по яркости звезда ночного небосвода Самарской области?
2. Какой из спутников Юпитера обладает большим подледным океаном жидкой воды?
3. В каком созвездии расположен апекс Солнечной системы?
4. Фамилией какого ученого назван эффект изменения частоты электромагнитного излучения, приходящего от движущегося источника, относительно частоты неподвижного источника?
5. У какой классической планеты Солнечной системы самая низкая средняя плотность?
6. Какая физическая величина не сохраняется у метеороида, при его вхождении в плотные слои атмосферы Земли?
7. Как называется геометрический параметр эллипса, характеризующий его меру сплюснутости?
8. Как называется вид грунта, слагающего поверхность Луны? *Максимальный балл – 8.*



Решение.



Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждое правильное понятие/ название	1(8)

№ 2. «Солнце и южный полюс мира»

Условие. 1. В какой день года Солнце подходит к южному полюсу мира на минимальное угловое расстояние?

Варианты ответов:

1. День летнего солнцестояния	2. День зимнего солнцестояния	3. День весеннего равноденствия
4. День осеннего равноденствия	5. День прохождения Земли точки ее орбиты, наиболее близкой к Солнцу	6. День прохождения Земли точки ее орбиты, наиболее далекой от Солнца

2. Что Вы можете сказать о продолжительности этого дня в столице нашей области, г. Самаре (широта: $+53^{\circ}12'$, долгота: $50^{\circ}06'$)?

Варианты ответов:

1. Она достигает максимального значения среди прочих дней года	2. Она достигает минимального значения среди прочих дней года	3. Она приблизительно равна 12 часам
4. Ее невозможно точно определить из-за облачной погоды	–	–

3. Над точками какого круга земного шара Солнце находится в зените в полдень в этот день?

Варианты ответов:

1. Геоэкватор	2. Нулевой меридиан	3. Тропик Козерога
4. Тропик Рака	5. Северный полярный круг	6. Южный полярный круг

4. Чему равна высота Солнца в полдень в г. Самаре в этот день?

Варианты ответов:

1. $+36^{\circ}48'$	2. $0^{\circ}00'$	3. $+60^{\circ}14'$
4. $+13^{\circ}22'$		

Решение. 1. Как известно склонение северного полюса мира составляет $\delta_{PN} = -90^{\circ}$. В течение года склонение Солнца изменяется в пределах:

$$-\varepsilon \leq \delta_{\odot} \leq \varepsilon, \quad \text{где } \varepsilon = 23^{\circ}26'.$$

Очевидно, минимальное расстояние между южным полюсом мира и Солнцем достигается в тот день, когда склонение последнего будет минимальным, то есть в *день зимнего солнцестояния* ($\delta_{\odot} = -\varepsilon = -23^{\circ}26'$).

2. Судя по географическим координатам, г. Самара принадлежит северному полушарию Земли. Как известно, в день зимнего солнцестояния во всех точках северного полушария продолжительность дня *достигает минимального значения*.

3. В этот день склонение Солнца равно $\delta_{\odot} = -23^{\circ}26'$. Значит оно будет в полдень в зените над точками круга земного шара, широта которого также равна $-23^{\circ}26'$. Последняя величина соответствует *тропику Козерога*.

4. В день летнего солнцестояния высота Солнца составляет

$$h_{\max}^{(\odot)} = 90^{\circ} - \varphi + \delta_{\odot} = +13^{\circ}22'.$$

Ответ: 1. День зимнего солнцестояния; 2. Продолжительность дня достигает минимального значения; 3. Тропик Козерога; 4. $h_{\max}^{(\odot)} = +13^{\circ}22'$.

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждый правильный ответ	2(8)

№ 3. «Звездная чехарда»

Условие. Представьте себе, что Вы находитесь в темное время суток в южном степном районе Самарской области. Вы наблюдаете одновременно восход яркой звезды 1 со склонением $\delta_1 = -7^{\circ}$ и заход яркой звезды 2 со склонением $\delta_2 = +15^{\circ}$. Что произойдет раньше: ближайший заход звезды 1 или восход звезды 2? Свой ответ обоснуйте. Постройте небесную сферу и укажите на ней суточные параллели этих звезд. *Максимальный балл – 8.*

Решение. 1. Рассмотрим рис. 1, соответствующий условию задачи. Заметим, что в момент восхода звезды 1 в точке R_1 , в противоположной части небосвода заходит за горизонт точка небесной сферы S'_1 со склонением $\delta_1 = +7^{\circ}$. В силу зеркальной симметрии расположения суточных параллелей $S_1D_1R_1U_1$ и $S'_1D'_1R'_1U'_1$ относительно небесного экватора, эти параллели одинаковые. При этом часть суточной параллели $R_1U_1S_1$ равна части суточной параллели $S'_1D'_1R'_1$. Значит, время нахождения звезды 1 над горизонтом равно времени суточного движения рассматриваемой точки под горизонтом.

Звезда 2 в тот же момент заходит за горизонт в точке S_2 . Поскольку события происходят на территории Самарской области (т.е. в северных широтах), а склонение звезды 2 больше склонения точки, то часть суточной параллели $S_2D_2R_2$ звезды 2, расположенной под горизонтом, меньше

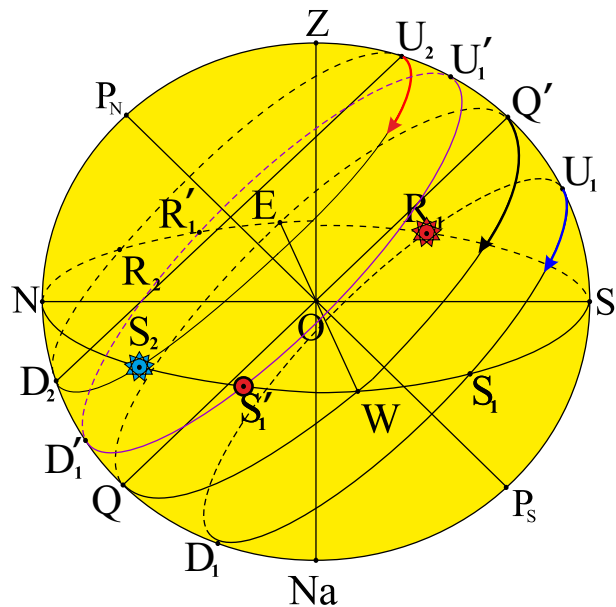


Рис. 1. К определению суточных параллелей двух звезд.

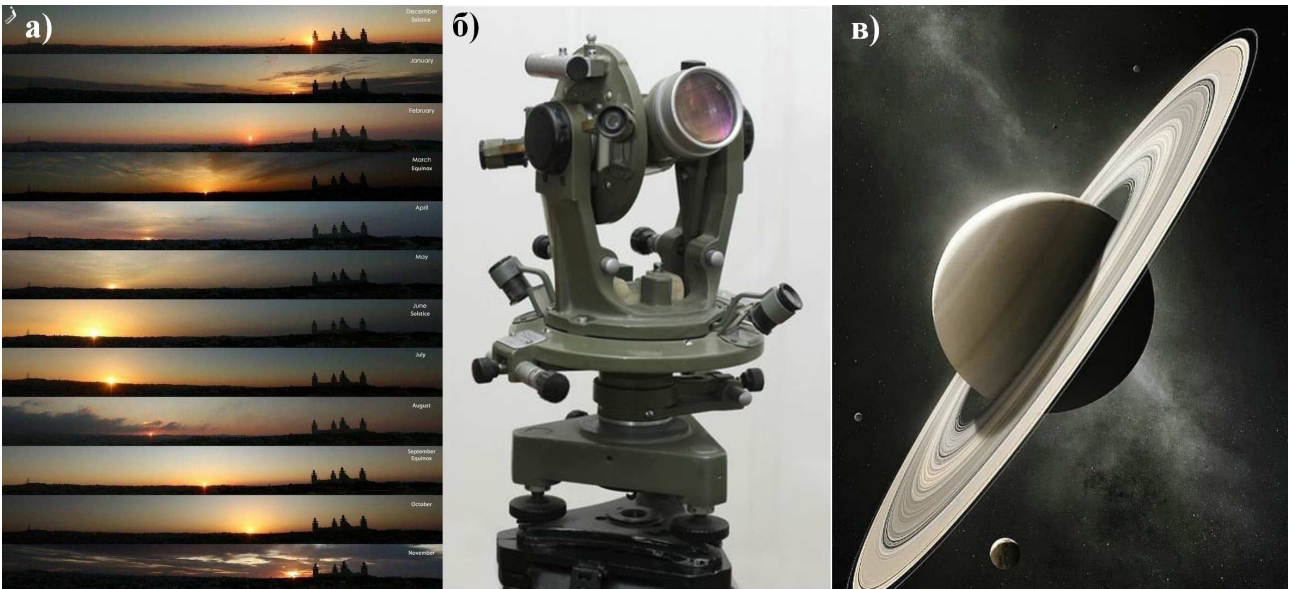


Рис. 2. К задачам №4, 5, 6.

соответствующей дуги $S'_1 D'_1 R'_1$, значит время пребывания звезды 2 под горизонтом, будет меньше чем время пребывания звезды 1 над горизонтом. Значит звезда 2 взойдет раньше, нежели зайдет за горизонт звезда 1.

Ответ: раньше взойдет звезда 2.

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
Корректное построение рисунка, соответствующего условию задачи	3
Использование диаметрально противоположной точки для звезды 1 (в момент восхода) и ее суточной параллели в обосновании	2
Сравнение длин дуг суточных параллелей для фиктивной точки и звезды 2, утопленных под горизонтом для самарского наблюдателя	2
Корректный вывод о хронологии рассматриваемых событий	1

№ 4. «Где-то на планете Земля тепло и ясная погода...»

Условие. На рис. 2.а) представлена серия фотографий Солнца на горизонте, полученных ежемесячно с декабря по ноябрь (сверху вниз) с одной точки поверхности Земли. Фотографии, сделанные в декабре и июне, получены в дни солнцестояний. Определите:

а) какой момент запечатлен на фотографии: восход или закат? Свой ответ поясните.

б) Определите широту местности, на которой велась съемка Солнца, если расстояние от места съемки до замка, видимого на горизонте, составляет 0.680 км, а расстояние (отсчитываемое в картинной плоскости) между вершинами крайних башен равно 200 м. Рефракцией света пренебречь.

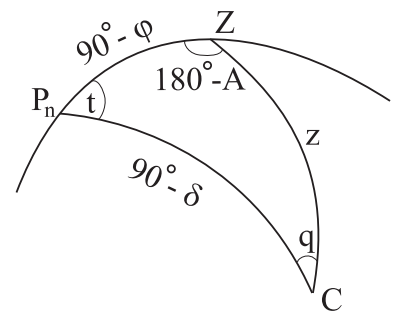


Рис. 3. К определению параллактического треугольника.

Решение. 1. Как известно, в течение года склонение Солнца изменяется в пределах:

$$-\varepsilon \leq \delta_{\odot} \leq +\varepsilon, \text{ где } \varepsilon = 23^{\circ}26'.$$

При этом минимальное значение склонения достигается в день зимнего солнцестояния, т.е. в декабре. Солнце подходит на минимальное угловое расстояние к Южному полюсу мира. На фотографиях этому моменту отвечает крайнее правое положение Солнца. Значит, справа находится юг. В день летнего солнцестояния (в июне) склонение Солнца принимает максимальное положительное значение. При этом светило подходит на минимально угловое расстояние к Северному полюсу мира. Данная ситуация отвечает крайнему левому положению Солнца на фотографиях.

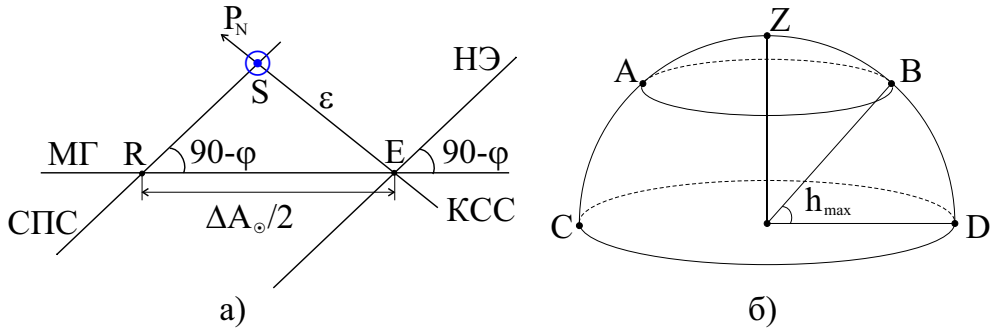


Рис. 4. К определению а) широты места наблюдения приближенным способом, б) области неба, доступной наблюдениям в теодолит в г. Самаре в данный момент.

Значит слева располагается север. Следовательно, центр фотографии ориентирован приблизительно на восток. На востоке Солнце бывает только утром, тогда на фотографии запечатлен восход Солнца.

2. Для ответа на второй вопрос задачи определим изменение азимута точки восхода Солнца между днями солнцестояний. Заметим, что можно легко определить угловое расстояние между вершинами крайних башен замка:

$$d'' = 2 \operatorname{arctg} \frac{L}{2r} = 16.73^\circ, \quad (1)$$

здесь $L = 200$ м, $r = 680$ м. Далее с использованием линейки по фотографии определяем линейное горизонтальное расстояние между крайними положениями Солнца в декабре и июне ($\ell_\odot = 41$ мм, здесь и далее Ваше значения могут отличаться от указанных автором) и расстояние между крайними вершинами башен замка $\ell = 10$ мм. Далее составляем пропорцию:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ell_\odot \rightarrow \Delta A_\odot, \\ \ell \rightarrow d'', \end{array} \right\}, \Rightarrow \Delta A_\odot = d'' \left(\frac{\ell_\odot}{\ell} \right) = 68.59^\circ. \quad (2)$$

Значит азимут точки восхода Солнца в день летнего солнцестояния есть $A_\odot^{(s)} = 270^\circ - \Delta A_\odot/2 = 235.7^\circ$.

3. Далее решим задачу двумя альтернативными способами:

1. *Точный подход.* Рассмотрим параллактический треугольник $\Delta_S P_N ZC$ (см. рис. 3) и воспользуемся для него формулой косинусов:

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos A, \quad (3)$$

здесь δ, z, A – склонение, зенитное расстояние и азимут светила соответственно, φ – широта места наблюдения. В момент, когда Солнце находится на горизонте (в день летнего солнцестояния), его высота равна нулю (а зенитное расстояние равно 90°), тогда последний результат можно записать так

$$\sin \delta_\odot = -\cos \varphi \cos A_\odot^{(s)}, \Rightarrow \cos \varphi = -\frac{\sin \varepsilon}{\cos A_\odot^{(s)}}, \Rightarrow \varphi = \pm \arccos \left[-\frac{\sin \varepsilon}{\cos A_\odot^{(s)}} \right] = \pm 45^\circ. \quad (4)$$

2. *Приближенный подход.* Рассмотрим рис. 4.а), соответствующий моменту, близкому к восходу Солнца в день летнего солнцестояния. Здесь МГ – математический горизонт, НЭ – небесный экватор, КСС – дуга круга склонения Солнца, СПС – суточная параллель Солнца. Для плоского прямоугольного треугольника ΔRSE имеем

$$\begin{aligned} \sin(90^\circ - \varphi) &= \frac{\varepsilon}{\Delta A_\odot/2}, \Rightarrow \cos \varphi = \frac{2\varepsilon}{\Delta A_\odot}, \Rightarrow \\ \varphi &= \pm \arccos \left[\frac{2\varepsilon}{\Delta A_\odot} \right] \approx \pm 47^\circ. \end{aligned} \quad (5)$$

Ответ: а) восход, б) представляется точным выражением (4) или приближенным (5).

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
Логически корректное обоснование того факта, что на фотографии представлен восход Солнца	2
Расчет изменения азимута в виде (2) или азимута в один из дней солнцестояния	3
Расчет двух значений широты места наблюдения одним из представленных выше способов (при потере одного корня -1 балл)	3

№ 5. «Теодолит Т-15 и видимая часть НС»

Условие. Теодолит Т-15 (см. рис. 2.б), прибор, который предназначен для измерения вертикальных (в частности, высоты) и горизонтальных (в частности, азимута) углов. При расположении прибора на горизонтальной поверхности его оптическая труба способна поворачиваться на 360 градусов по азимуту и от 0 до 55 градусов по высоте. Какая доля небесной сферы (НС) г. Самары ($\varphi_s = 53^\circ 12'$, $\lambda_s = 3^h 20^m$) доступна наблюдениям в такой прибор а) в данный момент, б) регулярно проводимым в течение года?

Решение. 1. Определим долю небесной сферы (НС), доступную наблюдениям в г. Самаре в данный момент. Для этого заметим, что область небосвода, доступная наблюдениям в такой прибор, может быть представлена как разность двух областей (см. рис. рис. 4.б): полусферы (CAZBD), телесный угол для которой есть $\Omega_{1/2} = 2\pi$ срад, и шарового сегмента (AZB), центр которого совпадает с зенитом наблюдателя, угол раствора конуса, на который опирается сегмент, равен $90^\circ - h_{\max}$. Здесь $h_{\max} = +55^\circ$ – максимальная высота светила, еще доступного наблюдениям в теодолит, при расположении последнего на горизонтальной поверхности. Тогда телесный угол для такого сегмента можно представить в виде:

$$\Omega_s = 2\pi(1 - \cos(90^\circ - h_{\max})). \quad (6)$$

Значит телесный угол, соответствующий данной области и доля от поверхности всей НС, есть

$$\Omega_1 = \Omega_{1/2} - \Omega_s = 2\pi \sin h_{\max}, \Rightarrow \eta_1 = \frac{\Omega_1}{2\Omega_{1/2}} = \frac{1}{2} \sin h_{\max} = 0.41, \text{ или } 41\%. \quad (7)$$

2. Заметим, что широта места наблюдения равна высоте полюса мира над горизонтом, т.е. $\varphi_s = h_{p_N} \leq h_{\max}$. При проведении регулярных наблюдений с данным прибором в течение года, в силу суточного вращения сферы и обращения Земли вокруг Солнца в этот инструмент можно будет обозревать область небосвода, простирающуюся от северного полюса мира до точки юга г. Самары, склонение для которой есть $\delta_{\min} = (\varphi_s - 90^\circ) = -36^\circ 48'$. Таким образом, недоступной для наблюдений из города Самары в течение года остается лишь шаровой сегмент, охватывающий область небосвода, склонения для точек которой меньше δ_{\min} . Рассуждая аналогично предыдущему случаю, получаем телесный угол, соответствующий искомой области наблюдений:

$$\Omega_2 = 2\Omega_{1/2} - 2\pi(1 - \cos(90^\circ - |\delta_{\min}|)) = 2\pi(1 + \cos \varphi_s), \Rightarrow \eta_2 = \frac{\Omega_2}{2\Omega_{1/2}} = \frac{1}{2}(1 + \cos \varphi_s) = 0.80, \text{ или } 80\%. \quad (8)$$

Ответ: к задаче представляется выражениями а) (7), и б) (8).

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
Корректный расчет искомой доли η_1	4
Корректный расчет искомой доли η_2	4

№ 6. «Юпитер в стиле "фэнтэзи"»

Условие. На рис. 2.в) представлен образ Юпитера с кольцами в стиле "фэнтэзи". Определите: а) могут ли быть в действительности кольца у Юпитера на таких расстояниях? Следует помнить, что спутник (а значит и частицы колец) Юпитера и его орбита могут лишь полностью

располагаться внутри его сферы Хилла, радиус которой относительно центра Юпитера в системе "Солнце-Юпитер", представляется формулой:

$$\mathfrak{R}_H = a_J \sqrt[3]{\frac{\mathfrak{M}_J}{3(\mathfrak{M}_\odot + \mathfrak{M}_J)}}, \quad (9)$$

где \mathfrak{M}_\odot , \mathfrak{M}_J – массы Солнца и Юпитера соответственно, a_J – радиус круговой орбиты Юпитера.

б) определите интервалы допустимых значений (ИДЗ) для радиусов орбит и сидерических периодов обращения частиц колец Юпитера, представленных на рис. 2.в) Здесь и в пункте в) гравитационным влиянием Солнца и других планет пренебречь.

в) определите ИДЗ для орбитальной скорости и центростремительного ускорения частиц колец Юпитера, представленных на рис. 2.в).

д) Проверьте: есть ли в таких кольцах частицы, сидерический период обращения которых равен периоду обращения Юпитера вокруг своей оси? Если есть, то чему равен радиус их орбиты и орбитальная скорость движения?

Решение. а) С использованием линейки по фотографии определим диаметр Юпитера ($d_J = 27.5$ мм, здесь и далее Ваши значения измеренных величин по фотографии могут отличаться от указанных автором), радиусы внутренней ($r_{\min} = 19$ мм) и внешней ($r_{\max} = 43$ мм) границ колец по фотографии. Далее составим пропорции вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_J \rightarrow 2 \times \mathfrak{R}_J, \\ r_{\min} \rightarrow \mathfrak{R}_{\min}, \end{array} \right\}, \Rightarrow \mathfrak{R}_{\min} = \mathfrak{R}_J \left(\frac{2r_{\min}}{d_J} \right) = 98800 \text{ км}, \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} d_J \rightarrow 2 \times \mathfrak{R}_J, \\ r_{\max} \rightarrow \mathfrak{R}_{\max}, \end{array} \right\}, \Rightarrow \mathfrak{R}_{\max} = \mathfrak{R}_J \left(\frac{2r_{\max}}{d_J} \right) = 223575 \text{ км}, \quad (11)$$

здесь \mathfrak{R}_{\min} , \mathfrak{R}_{\max} – радиусы внутренней и внешней границ колец Юпитера, $\mathfrak{R}_J = 71492$ км – экваториальный радиус Юпитера (кольца лежат, очевидно, в плоскости экватора планеты).

Вычисляя радиус сферы Хилла по формуле (9), с использованием справочных данных, в результате получаем $\mathfrak{R}_H = 53.12$ млн км. Поскольку $\mathfrak{R}_{\min}, \mathfrak{R}_{\max} < \mathfrak{R}_H$, значит в действительности у Юпитера могут быть такие кольца.

б) Согласно (10)-(11), радиусы орбит частиц таких колец заключены в интервале:

$$\mathfrak{R}_{\min} \leq \mathfrak{R}_{\text{rings}} \leq \mathfrak{R}_{\max}, \text{ или } 98800 \text{ км} \leq \mathfrak{R}_{\text{rings}} \leq 223575 \text{ км}. \quad (12)$$

Для определения интервала допустимых значений (ИДЗ) для сидерического периода обращения вокруг Юпитера, рассмотрим движение пылевой частицы кольца по круговой орбите и запишем второй закон Ньютона для нее:

$$\mathfrak{M}_p \cdot \vec{a}_p = \vec{F}_{\text{at}},$$

здесь \vec{a}_p – вектор ускорения пылевой частицы, \vec{F}_{at} – вектор силы притяжения, приложенной к пылевой частице со стороны Юпитера. В проекциях на координатную ось OX (см. рис. 5):

$$\mathfrak{M}_p \cdot a_p = F_{\text{at}}. \quad (13)$$

С учетом того, что a_p является центростремительным ускорением, определяемым выражением вида:

$$a_p = \frac{v^2}{R},$$

а сила притяжения определяется законом всемирного тяготения:

$$F_{\text{at}} = \frac{G \cdot \mathfrak{M}_J \cdot \mathfrak{M}_p}{R^2},$$

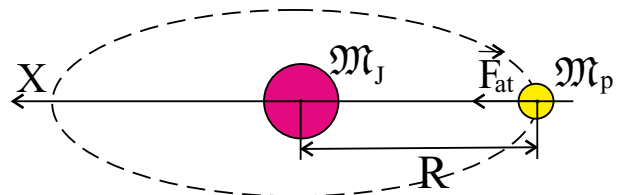


Рис. 5. К определению сидерического периода обращения частицы кольца.

где G – универсальная гравитационная постоянная, уравнение (13) можно переписать в виде:

$$\mathfrak{M}_p \frac{v^2}{R} = \frac{G \cdot \mathfrak{M}_J \cdot \mathfrak{M}_p}{R^2}. \quad (14)$$

Поскольку частица движется равномерно, то

$$v = \frac{2\pi R}{T},$$

где T – искомый период обращения частицы. Следовательно, соотношения (14) можно представить в виде:

$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{G \cdot \mathfrak{M}_J}{R} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{G \cdot \mathfrak{M}_J}} = \frac{2\pi R^{3/2}}{\sqrt{G \cdot \mathfrak{M}_J}}. \quad (15)$$

С использованием последнего результата и интервала (10), получаем следующий ИДЗ для сидерического периода:

$$4.81 \text{ час} \leq T \leq 16.39 \text{ час}. \quad (16)$$

в) Линейная орбитальная скорость и центростремительное ускорение частицы кольца определяются, согласно (14), выражениями вида:

$$V = \sqrt{\frac{G \cdot \mathfrak{M}_J}{R}}, \quad a_p = \frac{G \cdot \mathfrak{M}_J}{R^2}. \quad (17)$$

Выполняя численные расчеты, получаем следующие ИДЗ для искомых величин:

$$35.81 \text{ км/с} \leq V \leq 23.81 \text{ км/с}, \quad 12.98 \text{ м/с}^2 \leq a_p \leq 2.54 \text{ м/с}^2. \quad (18)$$

г) Из сопоставления сидерического периода ($P_J = 9.924$ часа, согласно справочным данным) вращения Юпитера вокруг своей оси с интервалом (16) и непрерывности самих колец, приходим к заключению, что в кольцах должны быть частицы, период обращения которых равен периоду P_J . Из результатов (15), (17) следуют явные выражения для радиуса орбиты и орбитальной скорости движения таких частиц:

$$R_p = \sqrt[3]{\frac{G \cdot \mathfrak{M}_J P_J^2}{4\pi^2}} = 160000 \text{ км}, \quad V_p = \sqrt[3]{\frac{2\pi G \cdot \mathfrak{M}_J}{P_J}} = 28.14 \text{ км/с}. \quad (19)$$

Ответ: к задаче представляется выражениями (12), (16), (18), (19); могут.

Рекомендации для жюри.

Выполненная часть решения задачи	Балл
Обоснована математически возможность существования колец у Юпитера, подобных представленным на картинке	2
Определены ИДЗ для радиуса орбиты + сидерического периода обращения частиц кольца	1+1
Определены ИДЗ для орбитальной скорости + центростремительного ускорения частиц кольца	1+1
Логически обоснован правильный вывод о возможности существования таких частиц. + Получены корректные значения для радиуса и орбитальной скорости таких частиц	1+1

На решение задач муниципального этапа олимпиады по астрономии школьникам отводится 4 часа.

Основные справочные данные

§1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная – $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме – $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная – $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана – $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Масса протона – $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона – $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица – $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек – $1 \text{ пк} = 3.261 \text{ св. лет} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

§2. Данные о Солнце

- Радиус – $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса – $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость – $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина – -26.74^m
- Абсолютная болометрическая звездная величина – $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) – $+0.67^m$
- Эффективная температура – 5778 К
- Средний горизонтальный параллакс – $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли – 1360 Вт/м^2
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли – 600 Вт/м^2

§3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты – 0.017
- Тропический год – 365.24219 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 км/с
- Период вращения – 23 часа 56 минут 04 секунды
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус – 6378.14 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Средний (по объему) радиус – 6371.01 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N₂ (78%), O₂ (21%), Ar (~ 1%)

§4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли – 384400 км
- Минимальное расстояние от Земли – 356410 км
- Максимальное расстояние от Земли – 406700 км
- Эксцентриситет орбиты – 0.055
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике – $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения – 27.321662 сут

- Синодический период обращения – 29.530589 сут
- Радиус – 1738 км
- Масса – $7.348 \cdot 10^{22}$ кг или 1/81.3 массы Земли
- Средняя плотность – $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние – -12.7^m

§5. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность г·см ⁻³	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	Геометрич. альbedo	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695500	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	-26.8^m
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	–0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут [†]	177.36	0.65	-4.4^m
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	-2.0^m
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	-2.7^m
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	0.4^m
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час [†]	97.86	0.51	5.7^m
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	7.8^m

* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

§6. Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики градусы	Период обращения	Синодический период сут
	млн. км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5

§7. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбе-до	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см ⁻³	км	сут		
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~ 10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~ 6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
Юпитер							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
Сатурн							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.20	~ 11.0
Уран							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 [†]	0.7	13.5

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

§8. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

здесь $x \ll 1$, все углы выражаются в радианах.

Дополнительные справочные данные

§9. Уравнение времени

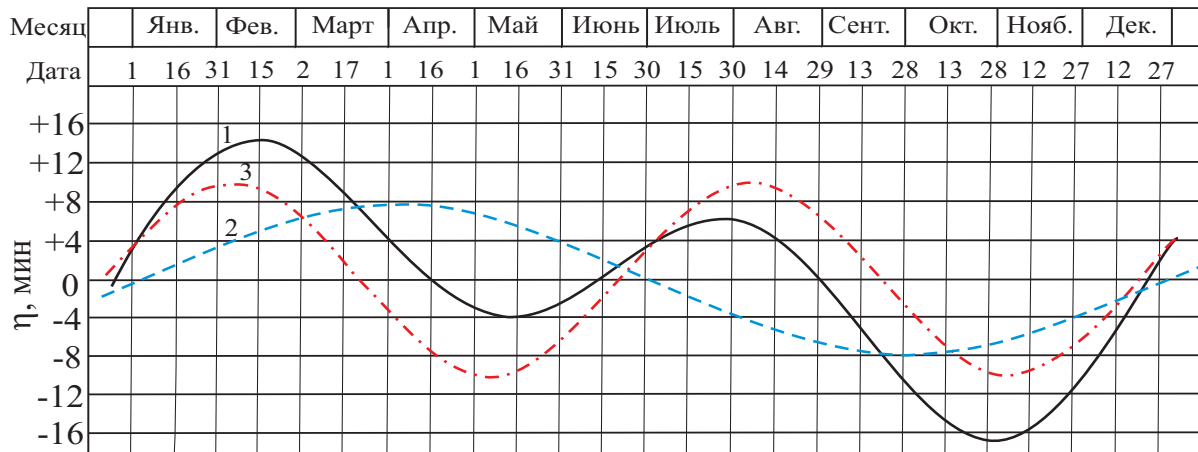


Рис. А.1. График уравнения времени: 1 – уравнение времени, 2 – уравнение центра, 3 – уравнение от наклона эклиптики.