Ключи и критерии оценивания

10 класс

Задача 1. Далекая радуга (8 баллов)

Мы привыкли видеть радугу как дугу, но ее полная форма — окружность, каждая точка которой находится на угловом расстоянии $\theta = 138^{o}$ от Солнца, а центр – точно напротив Солнца. Горизонт закрывает от нас часть радуги, а иногда и всю окружность. В рамках этой задачи будем считать радугу не имеющей толщины.

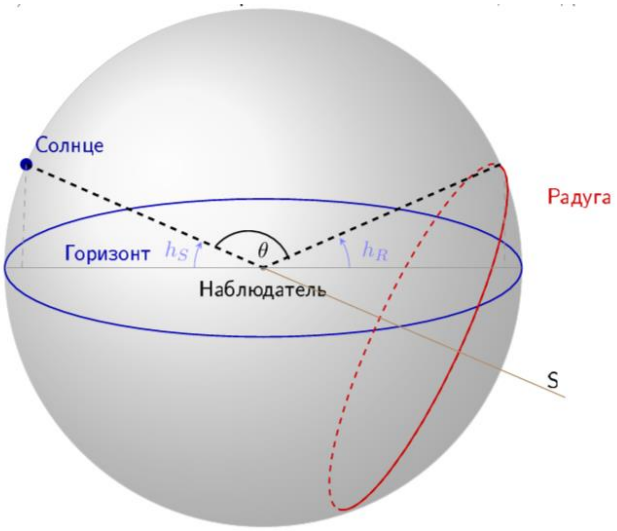
А. Выберите пригодную систему астрономических координат, нарисуйте в ней и обозначьте на рисунке: Солнце, наблюдателя, центр радуги - точку S, всю окружность радуги, угол θ между Солнцем и наивысшей точкой радуги, высоты h Солнца и наивысшей точки радуги. Солнце расположите не на горизонте и предусмотрите, чтобы радуга на рисунке не превращалась в отрезок.

Б. С каких угловых высот Солнца наблюдение радуги становится невозможным?

В. На каких широтах Земли в истинный солнечный полдень дня летнего солнцестояния радугу увидеть нельзя? Рефракцией и угловыми размерами Солнца пренебрегите.

Решение:

А. Предложено сделать рисунок, который наглядно представит взаимное расположение рассматриваемых объектов. Для построения радуги необходимо предусмотреть, чтобы все ее точки располагались от Солнца на одном и том же угловом расстоянии:



Б. Чем выше Солнце h_S, тем ниже верхняя точка радуги h_R. Из рисунка видно, что три угла h_S, h_R, θ составляют развернутый угол: $hS + hR + \theta = 180^o$ или $hR = 180^o - \theta - hS$.
Для невозможности наблюдать радугу необходимо, чтобы $h_R < 0$.
Тогда $\underline{h_S > 42^o}$.

В. Склонение Солнца в момент летнего солнцестояния соответствует углу наклона эклиптики к небесному экватору $\underline{\delta=23^o26'}$. Зная склонение Солнца и его ограничение на угловую высоту несложно определить ограничение на широту места наблюдения радуги. В момент истинного солнечного полудня Солнце находится в верхней кульминации. Высота светил в верхней кульминации:
$hS = 90^o - |\varphi-\delta| > 42^o$.
Теперь можно решить это неравенство относительно широты.
$|\varphi-\delta| < 90^o - 42^o = 48^o$
$\varphi-\delta < 48^o$ и $\varphi-\delta > -48^o \Rightarrow \varphi < 48^o + \delta$ и $\varphi > -48^o + \delta \Rightarrow \varphi < 71^o\,26'$ и $\varphi > -24^o\,34'$
$\Rightarrow \varphi \in (-24^o\,34'; 71^o\,26')$

Таким образом, наблюдение радуги невозможно на широтах $\underline{-24^o34' < \varphi < 71^o34'}$

Критерии оценивания

Пункт	Содержание	Балл
А	Построен верный рисунок в горизонтальной системе координат, на котором указаны: Солнце (не на горизонте), горизонт, наблюдатель, вся окружность радуги (не проецируется на прямую, но при этом примерно соблюдено одинаковое угловое расстояние от Солнца), центр радуги S, углы θ между Солнцем и любой точкой радуги, высоты hS и hR.	**1**
Б	Верно понято, что для наблюдения радуги Солнце должно быть не выше определённой величины, которая связана с углом θ (может прослеживаться косвенно) ИЛИ Получена связь между высотой Солнца hS и высотой верхней точки радуги hR	**1**
	Обоснованно получен верный ответ $\underline{h_S > 42^o}$	**1**
В	Приведена верная формула для связи широты, склонения и высоты Солнца. Баллы выставляются, если приведена или получена верная формула с модулем ИЛИ Выставляются баллы за формулы высоты верхней кульминации в каждом из трёх случаев: кульминация к югу от зенита в северном полушарии, кульминация к северу от зенита в северном полушарии, кульминация в южном полушарии. В таком случае выставляется по баллу за верную формулу в каждом случае	**3**
	Обоснованно получен верный ответ $\underline{-24^o34' < \varphi < 71^o34'}$ (за каждую полученную границу по одному баллу)	**2**
Итого		**8**

Задача 2. Звезда и ее пятна (8 баллов)

Красная звезда имеет температуру невозмущенной поверхности T_0=3000K. На поверхности звезды находится одна крупная активная область, покрытая более холодными пятнами одинаковой температуры. Площадь активной области и температура пятен за время наблюдений не меняются. Из наблюдений известно, что пятна занимают от 30% до 60% полной площади поверхности звезды. Вследствие вращения звезды вся активная область периодически оказывается то на видимой, то на противоположной стороне звезды. Наблюдения проводились достаточно долго, чтобы зарегистрировать положения с наибольшим и наименьшим возможным блеском. Разность между минимальной и максимальной наблюдаемыми звёздными величинами звезды составила $\Delta m=0{,}45^m$. Считайте, что фотосфера и пятна излучают как абсолютно чёрные тела. Эффекты проекции пятен можно не учитывать.

А. Найдите отношение максимального к минимальному наблюдаемым потокам излучения с поверхности звезды. Ответ округлите до сотых.

Б. При какой площади пятен (доля от всей поверхности звезды) отношение наибольшего потока к наименьшему будет максимально? Ответ обоснуйте.

В. Найдите наибольшую возможную температуру пятен. Ответ округлите до сотен кельвинов.

Решение:

А. Отношение максимального потока к минимальному можно найти по формуле Погсона:

$$\frac{\mathrm{F(max)}}{\mathrm{F(min)}} = 10^{0{,}4\cdot\Delta\mathrm{m}} = 10^{0{,}4\cdot 0{,}45} = 1{,}51$$

Б. Мы наблюдаем только половину поверхности звезды, и энергия приходит только от половины поверхности звезды. Для того, чтобы отношение потоков было максимально необходимы максимальный числитель и минимальный знаменатель. Такое возможно, если мы наблюдаем в максимуме поверхность звезды без пятен, а в минимуме всю поверхность звезды, покрытую пятнами. Поскольку наблюдается только половина звезды, эта доля составляет 0,5 или 50%, что по условию задачи возможно.

В. Наибольшая температура пятен будет достигаться, если отношение потоков максимально при фиксированной температуре. Такая ситуация была найдена в пункте Б. Без учета эффектов проекции наблюдаемый поток пропорционален наблюдаемой площади (половина от полной поверхности S) и четвертой степени температуры звезды T_0 и пятен $T_п$ (закон Стефана-Больцмана).

$$\frac{\mathrm{F(max)}}{\mathrm{F(min)}} = \frac{0{,}5\cdot S\cdot {T_0}^4}{0{,}5\cdot S\cdot {T_\mathrm{п}}^4} = \left(\frac{T_0}{T_\mathrm{п}}\right)^4$$

Отсюда можно выразить температуру пятен:

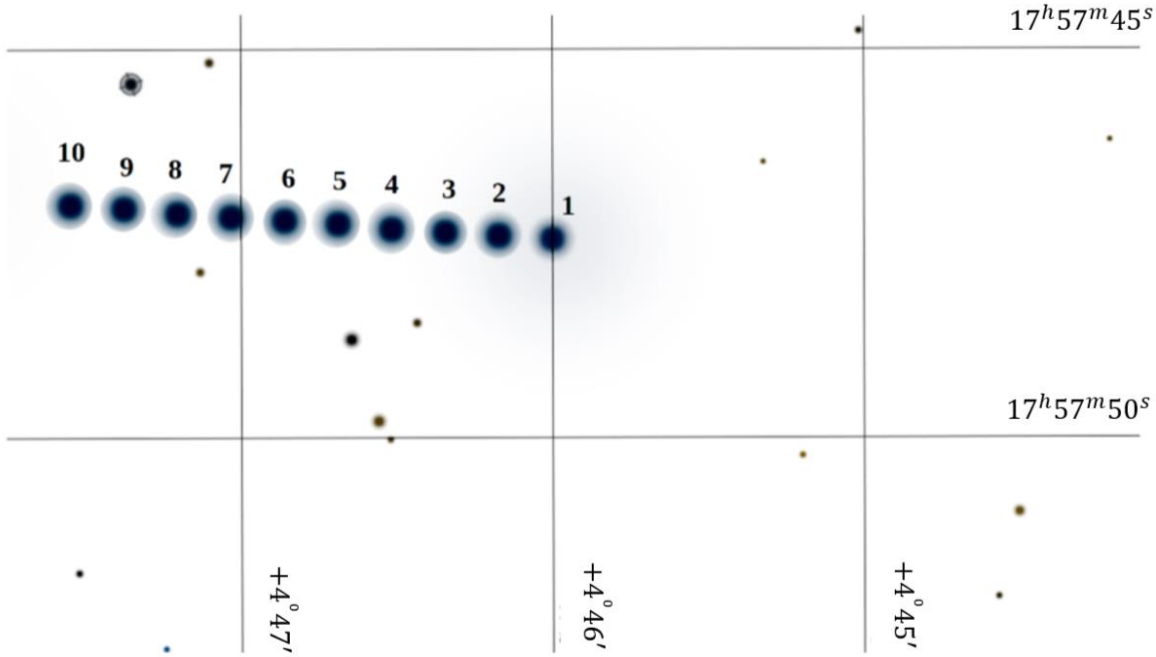
$$T_п = \frac{T_0}{\frac{F(max)}{F(min)}^{1\backslash 4}} = \frac{3000\ К}{1{,}51^{0.25}} = 2706{,}3 \approx 2700К$$

Критерии оценивания

Пункт задания	**Содержание**	**Балл**
А	Приведено явно или неявно (например, подставлены числа в той же формульной зависимости) выражение для формулы Погсона	**1**
	Получен верный ответ 1,51	**1**
Б	Присутствует понимание, что необходимо увеличение доли пятен для снижения потока излучения от половины поверхности	**1**
	Приведено полное рассуждение, приводящее к правильному ответу 0,5 или 50%	**2**
В	В рассуждении присутствует, что количество излучаемой энергии пропорционально четвертой степени температуры	**1**
	Приведено рассуждение, приводящее к тому, что для максимальной температуры пятен необходимо максимальное отношение потоков при фиксированной температуре	**1**
	Обоснованно получен верный ответ $T_п$=2700К	**1**
Итого		**8**

Задача 3. Ежегодное внимание (8 баллов)

На мозаике изображений показаны 10 положений звезды через равные промежутки времени в 1 год. В точке 1 параллакс звезды 0,546″, а лучевая скорость -110,8 км/с.



1. С какими скоростями μα и μδ изменяются экваториальные координаты звезды за год? Почему эти значения можно считать постоянными в течение времени наблюдений?
2. Чему равна пространственная скорость звезды?
3. Сколько времени должно пройти, чтобы видимая звёздная величина данной звезды уменьшилась на 1^m?

Решение:

1. Выясним, как движется звезда в пространстве. С помощью линейки можно соединить центры изображений звезды на рисунке и провести через них отрезок, параллельный горизонтальной оси (Рисунок 1). Равенство расстояний между центрами изображений звезды позволяет считать изменения экваториальных координат постоянными величинами в пределах десятилетия наблюдений. Для обоснования этого постоянства нужно вспомнить, что собственные движения звезд малы - тысячные доли угловой секунды в год и уточняются один раз в 50 лет - на астрономическую эпоху. Это понимание

позволяет выбрать на Рисунке 1 наиболее удобный – близкий к линии координатной сетки – измеряемый участок. Можно показать, что результат не зависит от этого выбора.

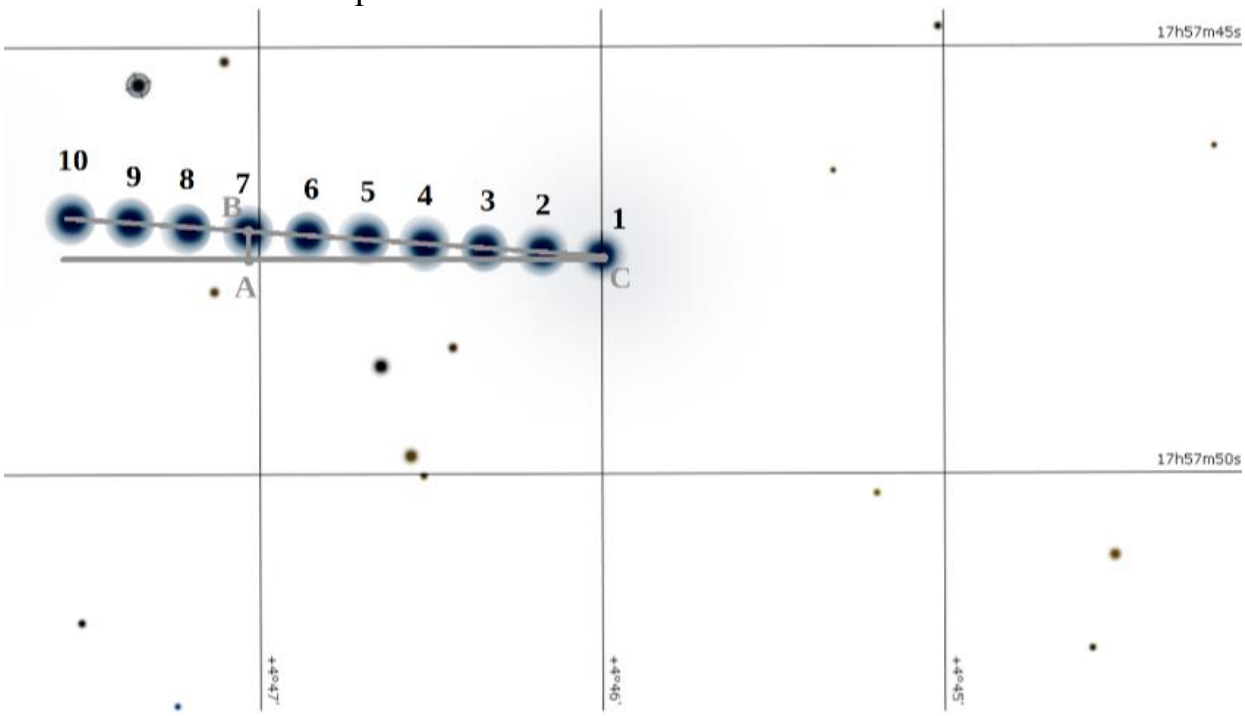


Рисунок 1

По единицам измерения на шкалах видно, что по горизонтали отсчитывается склонение, а по вертикали — прямое восхождение. Тогда отрезок АС равен изменению склонения, например, за 6 лет, а отрезок АВ — изменению прямого восхождения за это же время. Теперь можно рассчитать компоненты собственного движения звезды μα и μδ, не забыв перевести временную меру в угловую :

$$\mu\alpha = \frac{5 \cdot 0{,}07}{6} = 0{,}05\frac{s}{\text{год}} = 0{,}05 \cdot 15\ \frac{''}{\text{год}} = 0{,}8\frac{''}{\text{год}}$$

$$\mu\delta = \frac{1{,}03' \cdot 60''}{6} = 10{,}3\frac{''}{\text{год}}$$

2. Одна из компонент полной скорости – лучевая скорость Vr – известна. Нужна еще трансверсальная скорость, чтобы по теореме Пифагора найти модуль полной пространственной скорости. По найденным μα и μδ и склонению звезды в точке 1 ($\delta = 4^{o}\ 45'$) определим собственное движение звезды μ:

$\mu = \sqrt{\mu\delta^2 + (\mu\alpha \cdot \cos\delta)^2} = \sqrt{10.3^2 + (0.8 \cdot \cos 4{,}75^0)^2} \approx 10{,}3$ ″/(год).

Теперь можно определить трансверсальную скорость звезды Vτ:

Vτ =4,74 μ/π = $4{,}74 \cdot \frac{10{,}3}{0{,}546} = 89{,}4$ км/с, где π — параллакс звезды.

Поскольку лучевая скорость звезды отрицательна, то звезда движется к наблюдателю.

Кроме того, отношение Vτ /Vr $= \frac{89,4}{110,8}$ дает значение тангенса угла α ≈ 38,9°, под которым вектор полной скорости направлен к лучу зрения.

Модуль полной скорости звезды будет равен V= $\sqrt{Vr^2 + V\tau^2} = \sqrt{110,8^2 + 89,4^2}$=142,37 км/с.

3.Найдём расстояние на котором должна находится звезда, чтобы её звездная величина уменьшилась на Δm=1^m. Воспользуемся формулой Погсона:

$$\frac{E1}{E2} = 10^{(-0,4\cdot\Delta m)}$$

Поскольку освещённость от звезды обратно пропорциональна квадрату расстояния до неё, можем записать:

$\frac{E1}{E2} = \frac{{r_2}^2}{{r_1}^2} = 10^{(-0,4\cdot\Delta m)}$, $\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{10^{(-0,4\cdot\Delta m)}} = \sqrt{10^{(-0,4\cdot 1)}} = 0,63$

где r_1— расстояние до звезды в текущий момент времени, а r_2— расстояние до звезды, когда её звёздная величина уменьшится на Δm=1^m, т.е. звезда станет ярче (Рисунок 2).

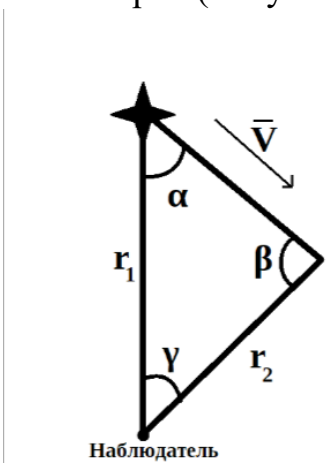


Рисунок 2

Из значения параллакса звезды найдём, чему равны эти расстояния:

r_1 = 1/π =1,83пк,

$r_2 = r_1 \cdot 0,63$=1,15пк

Далее найдём расстояние, которое должна преодолеть звезда, чтобы до неё стало 1,15 пк.

В треугольнике на Рисунке 2 нам известны две стороны, и угол α. С помощью теоремы синусов найдём угол β:

$\frac{r_1}{sin\beta} = \frac{r_2}{sin\alpha}$, $\beta = arcsin\frac{r_1 \cdot sin\alpha}{r_2} = arcsin\frac{1,38\cdot \sin 38,9^0}{1,15} = 87,8^0$

Теперь воспользуемся теоремой косинусов для нахождения пройденного звездой расстояния x:

x = $\sqrt{{r_1}^2 + {r_2}^2 - 2\cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \cos(180° - \alpha - \beta)} = 1.47$ пк

Для ответа на вопрос задачи, нам остаётся посчитать, за какое время t звезда пройдёт расстояние x: $t = \frac{x}{V} = \frac{1{,}47 \cdot 206265 \cdot 1{,}496 \cdot 10^8 \text{ км}}{142{,}37 \frac{\text{км}}{\text{с}} \cdot 365{,}25 \cdot 24 \cdot 3600\text{с}} = 10096 \text{ лет} \approx 10^4 \text{лет}$

Критерии оценивания

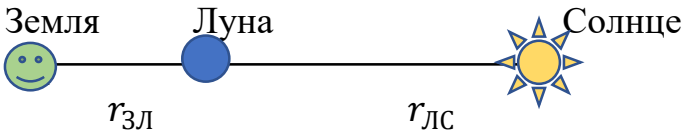
Критерий	**Содержание критерия**	**Балл**
1	Из рисунка определены значения $\mu\alpha = 0.8 \frac{''}{\text{год}}$ и $\mu\delta = 10.3 \frac{''}{\text{год}}$	2
	Приведено графическое или теоретическое обоснование постоянства $\mu\alpha$ и $\mu\delta$ в пределах интервала наблюдений	1
2	Найден модуль полной скорости звезды в пределах [135; 145] км/с	1
3	Верно определены расстояние $r_1 = 1{,}83$ пк, на котором звезда находится в момент 1, и расстояние $r_2 = 1{,}15$ пк, на котором она должна оказаться **в будущем**.	2
	Верно определено расстояние r_1, на котором звезда находится в момент 1, но неправильно учтен знак лучевой скорости (искомое положение звезды оказывается в прошлом)	1
	Определено расстояние x = 1.47 пк	1
	Получен верный ответ в пределах [10000;12000] лет	1
	Итого	**8**

Задача 4. Прощай, полное затмение! (8 баллов)
Луна удаляется от Земли со скоростью 4см/год. Предположим, что в некоторый момент времени Луна оказалась между Землёй и Солнцем в точке, где притяжение Солнца в три раза больше земного. Заметим, что, двигаясь по спирали, Луна еще долго будет оставаться на орбите вокруг Земли.

1. На каком минимальном расстоянии от земного наблюдателя будет находиться Луна?
2. Каким будет видимый угловой диаметр Луны?
3. Какую максимальную часть Солнца Луна сможет затмить?

Решение:

1.Из условия притяжения Солнца и Земли можно найти точку в которой будет находится Луна.



По закону Всемирного тяготения:

$$F = G\frac{M_З \cdot M_Л}{R^2}$$

$$3G\frac{M_З \cdot M_Л}{{r_{ЗЛ}}^2} = G\frac{M_С \cdot M_Л}{{r_{ЛС}}^2}$$

$$3\frac{M_З}{{r_{ЗЛ}}^2} = \frac{M_С}{{r_{ЛС}}^2}$$

$$\frac{r_{ЛС}}{r_{ЛЗ}} = \sqrt{\frac{M_С}{3M_З}} = \sqrt{\frac{1{,}989 \cdot 10^{30}}{3 \cdot 5{,}974 \cdot 10^{24}}} = 333$$

где $M_З$ – масса Земли, $M_Л$ – масса Луны, $M_С$ – масса Солнца, $r_{ЗЛ}$ - расстояние от Луны до Земли, $r_{ЛС}$- расстояние от Луны до Солнца.

Поскольку нам известно расстояние между Землёй и Солнцем и отношение $\frac{r_{ЛС}}{r_{ЛЗ}}$, найдём расстояние между центрами масс Земли и Луны и минимальное расстояние от Луны от земного наблюдателя, учитывая радиус Земли $R_З$:

$$r_{ЛЗ} + r_{ЛС} = R_{ЗС}$$

$r_{ЛЗ} = \frac{R_{ЗС}}{(1+333)} = \frac{1{,}496 \cdot 10^8 \text{ км}}{(1+333)} = 447904 \text{ км} \approx 448000 \text{ км}$ – *расстояние между центрами масс Земли и Луны в ситуации задачи*

$$r_{ЛЗmin} = \frac{R_{ЗС}}{(1+333)} - R_З = \frac{1{,}496 \cdot 10^8 \text{ км}}{(1+333)} - 6378 \text{ км} = 441526 \text{ км} \approx 441500 \text{ км}$$

2.Угловой диаметр Луны $\rho_Л$ можно найти, используя ее линейный диаметр $D_Л = 2 \cdot R_Л = 2 \cdot 1730 \text{ км} = 3460 \text{ км}$:

$$\rho_Л = \frac{206265 \cdot D_Л}{r_{ЛЗ}} = \frac{206265'' \cdot 3460 \text{ км}}{448000 \text{ км}} = 1593'' = 26{,}6' = 0{,}44^0$$

3.Для ответа на вопрос о закрываемой Луной доле солнечной поверхности при затмении нужно найти отношение видимых площадей Луны и Солнца на небе. Угловой диаметр Солнца $\rho_С = 0{,}5°$ известен или может быть найден с использованием справочных данных, угловой диаметр Луны найден в п.2. Используя формулу площади круга, получим

$$\frac{S_Л}{S_С} = \frac{\pi \cdot {\rho_Л}^2}{\pi \cdot {\rho_С}^2} = \frac{0{,}44^2}{0{,}5^2} = 0{,}77$$

.

Луна затмит 0,77 долю Солнца или 77%.

Критерии оценивания

Критерий	**Содержание критерия**	**Балл**
1	Верно найдено местоположение Луны (около 448 тысяч км от Земли), либо оно косвенно учитывается в дальнейшем решении	1
	Верно найдено наименьшее расстояние до земного наблюдателя (около 441,5 тысяч км от Земли)	1
2	Определён угловой диаметр (0,44°)	3
	Участник определил угловой радиус Луны (0,22°)	2
3	Найдена доля, которую затмевает Луна (ответ может быть дан в виде доли 0,77, процента 77%, дроби и т.д.)	3
	Итого	8

Задача 5. Хочу портрет! (8 баллов)

Астероид с большой полуосью орбиты a = 0,69 а.е. пытаются сфотографировать в момент наибольшего углового удаления от Солнца камерой в фокусе телескопа с фокусным расстоянием F = 15 м и диаметром объектива D = 4,8 м. Размер астероида 2R =10 км.

1. На каком расстоянии d от наблюдателя находится астероид в момент съемки?
2. Какой линейный размер l имеет изображение астероида в фокальной плоскости телескопа? Что будет представлять собой «портрет» астероида, сделанный с помощью имеющегося оборудования?
3. Какое максимальное количество пикселей займёт изображение, если размер одного пикселя $l_{\text{п}} = 1$ мкм?
   Орбиты Земли и астероида считать круговыми, лежащими в одной плоскости. Атмосферным дрожанием пренебречь.

Решение:

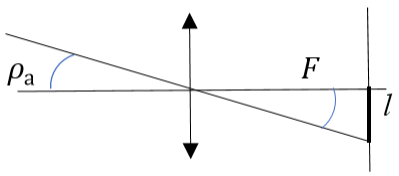
1. Найдём расстояние до астероида. Поскольку большая полуось орбиты астероида меньше 1 а.е., т.е. астероид является внутренним по отношению к орбите Земли ($R_З = 1$ а. е.), а наблюдение происходит при наибольшем угловом удалении от Солнца – элонгации в приближении круговых орбит, найдем расстояние до астероида по теореме Пифагора:

$$d^2 + \text{a}^2 = {R_З}^2,\ d = \sqrt{{R_З}^2 - \text{a}^2} = \sqrt{1 - 0{,}69^2} = 0{,}72 \text{ а. е.}$$

2. Зная расстояние d и линейный размер астероида 2R, найдем его угловой размер $\rho_{\text{а}}$:

$$\rho_a = \frac{206265'' \cdot 2R}{d} = \frac{206265'' \cdot 10 \text{ км}}{0{,}72 \cdot 1{,}496 \cdot 10^8 \text{км}} = 0{,}019''$$

и рассчитаем линейный размер изображения l астероида в фокусе телескопа



$$l = F \cdot tg\rho_a = F \cdot \frac{\rho_{a''}}{206265''} = 15 \cdot \frac{0{,}019}{206265} = 1{,}38 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1{,}38 \text{ мкм}$$

Чтобы ответить на вопрос о «портретном сходстве», сравним угловой размер астероида с разрешающей способностью телескопа. Поскольку

мы пренебрегаем атмосферным дрожанием, то разрешающая способность телескопа

$\theta = 1{,}22\,\frac{\lambda}{D} \cdot 206265''$ или (считаем, что наблюдение ведётся в видимом диапазоне , поскольку не сказано обратное) $\theta = \frac{138''}{D\ \text{мм}} = \frac{138''}{4{,}8 \cdot 10^3\ \text{мм}} = 0{,}029''$,

Поскольку угловой размер астероида меньше разрешающей способности телескопа,

$0{,}019'' < 0{,}029''$,

то на матрице камеры вместо изображения астероида мы увидим световой кружок (кружок Эйри), формируемый оптическим прибором. При этом никаких «портретных» деталей не получится.

3. Количество пикселей на которых получится диаметр изображения, получим, зная размер $l_э$ кружка Эйри:

$$n = \frac{l_э}{l_п} = F\text{мкм} \cdot \frac{\theta''}{206265'' \cdot 1\ \text{мкм}} = 15 \cdot 10^6 \cdot \frac{0{,}029}{206265} = 2{,}11$$

Диаметр кружка составляет более 2-х, т.е. 3 пикселя, полное изображение кружка получится на 9 пикселях.

Критерии оценивания

	Содержание критерия	**Балл**
1	Найдено расстояние от наблюдателя до астероида (0,72 а.е.)	2
2	Найден линейный размер изображения (1.38 мкм)	2
	Вычислены и сравнены угловой размер астероида (0,019″) и разрешающая способность телескопа (0,029″). Сделан вывод о невозможности разрешения астероида в телескоп	3
	Вычислен угловой размер астероида (0,019″). Проигнорировано исследование разрешающей способности телескопа	1
3	Найдено количество число занимаемых изображением кружка Эйри пикселей (9)	1
	Найден линейный размер изображения (1.38 мкм) и количество занимаемых им пикселей (4), но при решении было проигнорировано исследование разрешающей способности телескопа	0
	Итого	8

Задача 6. Орбитальный … чайник (8 баллов)

Земные астрономы с помощью новейшего телескопа сверхвысокого разрешения смогли обнаружить в космосе объект экзотической формы, похожий на чайник, летящий по круговой орбите вокруг Солнца. В ходе расчётов орбиты объекта выяснилось, что его синодический период равен сидерическому.

А) Чему численно равны эти периоды?

Б) Между какими планетами находится орбита такого объекта?

В) Как долго идет до наблюдателя свет, отраженный от такого объекта при самом близком расположении его к Земле?

Решение.

1.Запишем выражение для синодического периода внутренних и внешних планет:

$1/S = 1/T - 1/(T\oplus)$ - Для внутренних планет

$1/S = 1/(T\oplus) - 1/T$ – Для внешних планет

Здесь S – синодический период, T – сидерический период, $T\oplus = 1$ год - сидерический период Земли

Рассмотрим выражение для внутренних планет. Приравняем синодический и сидерический периоды.

$1/x = 1/x - 1$

Очевидно, что такое выражение не имеет смысла, т.к. сократив одинаковые дроби мы придем к выражению 1= 0 . Таким образом можем заключить, что для внутренних тел равенство сидерического и синодического периодов невыполнимо.

Рассмотрим выражение для внешних планет. Приравняем синодический и сидерический периоды. $1/x = 1 - 1/x$

Из полученного выражения следует, что x = 2. Таким образом для внешнего тела, по отношению к Земле возможно равенство сидерического и синодического периода в единственном случае, когда S = T = 2 года.

2. Связь между периодом и размером орбиты задается третьим законом Кеплера:

$$\frac{T_1^{\,2}}{T_2^{\,2}} = \frac{a_1^{\,3}}{a_2^{\,3}}$$

Примем за первое тело – наш объект из условия. За второе тело примем Землю. Тогда выражение примет вид

$\frac{2^2}{1} = \frac{a_1{}^3}{1}$, откуда $a_1 = \sqrt[3]{4} = 1{,}587$ а. е.
Из справочных данных: большая полуось орбиты Марса равна 1,52 а.е.

Таким образом можно сделать вывод, что орбита обнаруженного чайника располагается между орбитами Марса и Юпитера. Аналогичный вывод можно сделать и из сравнения периодов обращения Марса, Юпитера и полученного периода для обнаруженного чайника.

3.Чтобы рассчитать время полета света, надо найти наименьшее расстояние между чайником и Землей на круговых орбитах. Минимальным расстоянием в конфигурации противостояние будет разность больших полуосей орбит чайника и Земли:

1,587 – 1 = 0,587 а.е.

Свет проходит 1 а.е. за 500 секунд (или 8 минут, что можно легко рассчитать из справочных данных), значит, наименьшее расстояние между чайником и Землей будет пройдено за $0{,}587 \cdot 500 = 293{,}5\text{с} = 4.89$ мин. или 4 мин. 53,5с

Критерии оценивания

Пункт задания	Содержание	Балл
1	Приведены верные формулы для синодического периода внутренних и внешних планет.	1
	Правильно вычислены синодический и сидерический периоды. S = T = 2 года	2
2	Правильно записан третий закон Кеплера	1
	Верно вычислена большая полуось и она попадает в диапазон [1,58;1,59]а.е.	1
	Правильно определено, между орбитами каких планет располагается орбита чайника	1
3	Верно найдено минимальное расстояние между Землей и чайником и оно попадает в диапазон [0,58;0,59]а.е.	1
	Верно найден промежуток времени и он попадает в диапазон [290;300]с.	1
Итого		8