ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ
ФОНД ПОДДЕРЖКИ ТАЛАНТЛИВЫХ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ

ВСОШ

Разбор заданий муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по астрономии для 10 класса 2026/2027 учебного года в Свердловской области



Разработчик –
Прокина Галина Михайловна,
учитель физики и астрономии
СУНЦ УрФУ, высшая категория

Задача 1. Далекая радуга

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.*

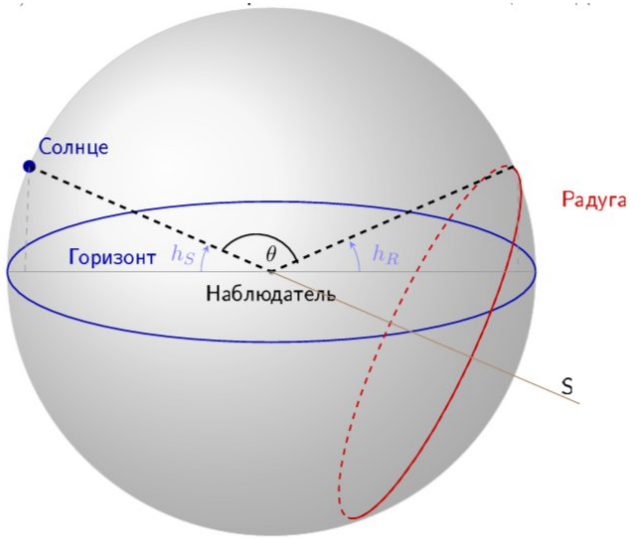
Б. *С каких угловых высот Солнца наблюдение радуги становится невозможным?*

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



Для успешного решения этой задачи важно выбрать систему координат и сделать в ней правильный рисунок. В тексте задачи имеются сведения для выбора именно горизонтальной (азимутальной) системы, поэтому нужно внимательно прочитать условие задачи.

Рисунок требует достаточно развитого пространственного воображения



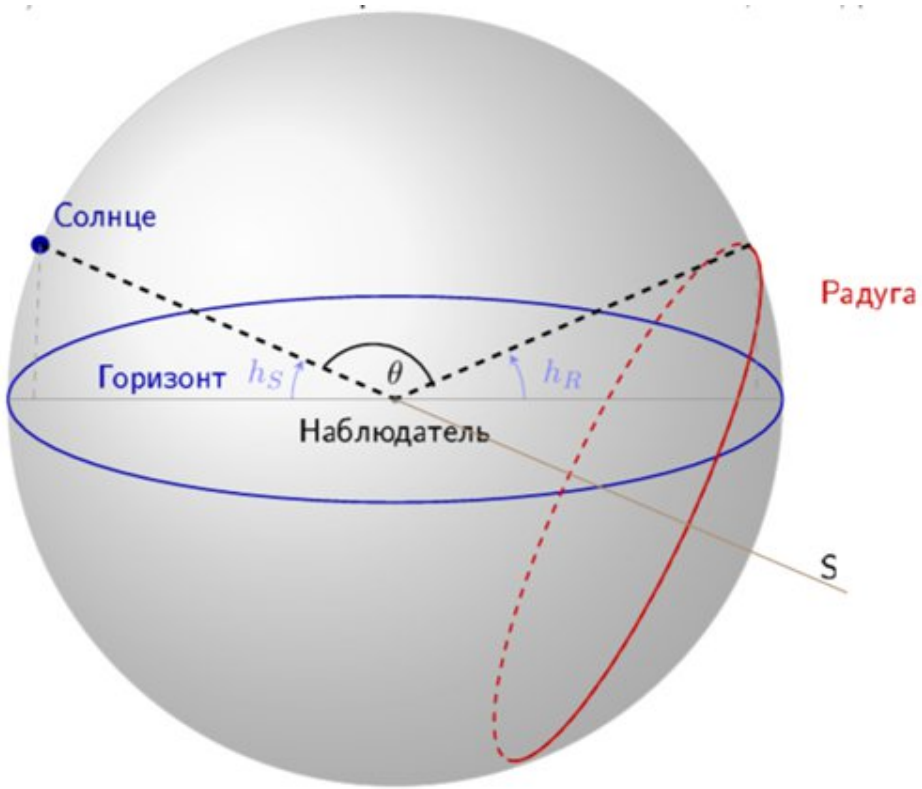
Задача 1. Далекая радуга

- Верный рисунок поможет справиться и с остальными вопросами задачи, т.е. понять, что

для наблюдения радуги Солнце должно быть не выше определённой величины, которая связана с углом θ.

В итоге может быть получена связь между высотой Солнца hS и высотой верхней точки радуги hR

$$hR = 180^{o} - \theta - hS$$



Задача 1. Далекая радуга

Знаем наибольшее склонение Солнца δ=+23º26’ и имеем ограничение на угловую высоту.
Далее несложно определить и ограничение на широту места наблюдения радуги, используя обобщенную формулу высоты светил в верхней кульминации:

$hS = 90^º - |\varphi - \delta| > 42^º$

Осталось только аккуратно решить это неравенство относительно широты, получив интервал широт:

$|\varphi - \delta| < 90^º - 42^º = 48^º$
$\varphi - \delta < 48^º$ и $\varphi - \delta > -48^º \Rightarrow \varphi < 48^º + \delta$ и $\varphi > -48^º + \delta \Rightarrow \varphi < 71^º\,26'$ и $\varphi > -24^º\,34'$

$$\varphi \in (-24^º\,34'; 71^º\,26')$$

К итоговому успеху приводит математическое умение работать со знаком модуля.

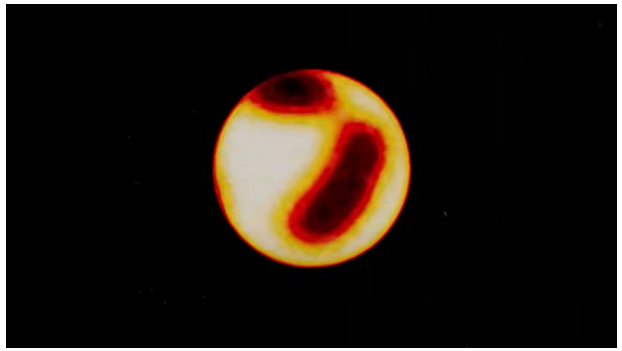
Задача 2. Звезда и ее пятна

Красная звезда имеет температуру невозмущенной поверхности T0=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 Δm=0,45m. 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.



Успешное решение задачи требует осведомленности в теме «Звездные величины», т.к. используется формула Погсона.
В ней важно понимать, что традиционная левая часть формулы (отношение освещенностей E рядом с наблюдателем) может быть переписана и для потоков излучения F. Правая часть при этом не изменится. Таким образом, ответ на первый вопрос далее потребует только аккуратного счета, округления и может быть использован для определения температуры пятен.

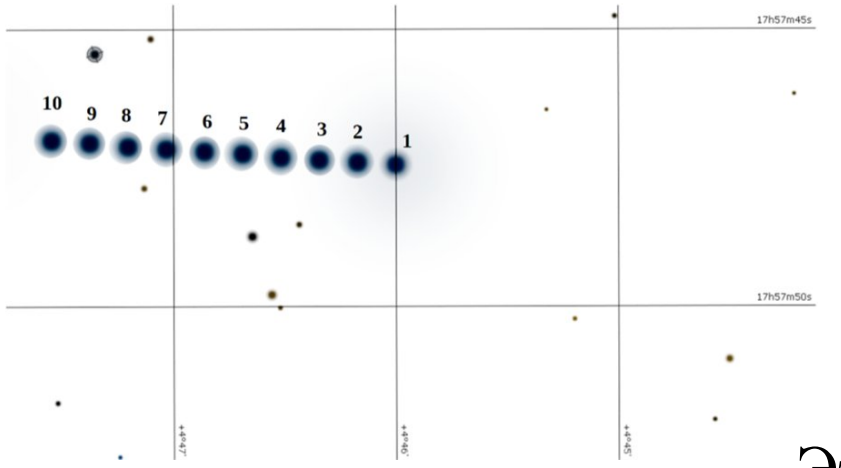
На фото – реальное изображение звезды с большой площадью пятен на поверхности (красный гигант).



Задача 2. Звезда и ее пятна

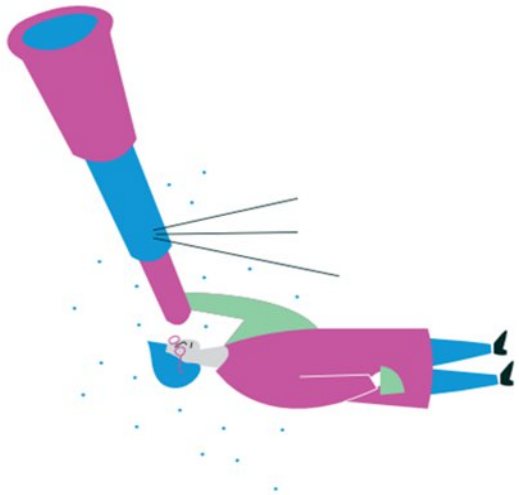
- Ответ на второй вопрос задачи достаточно очевиден, для его обоснования требуется вспомнить условие наибольшего значения обыкновенной дроби.
- Для ответа на третий вопрос задачи требуется знание закона Стефана – Больцмана, для левой части которого мы уже имеем отношение потоков. В правой части после сокращения остается только отношение температур в четвертой степени. Одна из температур известна: T_0=3000K
- $\frac{F(max)}{F(min)} = \frac{0{,}5 \cdot S \cdot T_0^{\,4}}{0{,}5 \cdot S \cdot T_п^{\,4}} = \left(\frac{T_0}{T_п}\right)^4 = 1.51$. Осталось найти $T_п$.

Задача 3. Ежегодное внимание



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 $\mu\alpha$ и $\mu\delta$ 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?*



Эта довольно объемная классическая задача требует аккуратного выполнения несложных действий в четкой последовательности:

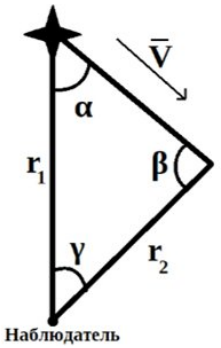
1. Перевод «практической» задачи в теоретическую. Для этого на рисунке достраивается координатная сетка прямых восхождений через точку 1. Далее проводятся измерения длин и решение прямоугольного треугольника. Единственное, чего нельзя при этом забыть, – перевод временной меры в угловую. В завершении этого этапа получаем числовые значения собственных движений $\mu\alpha$ и $\mu\delta$ в угловых секундах за год. Двойная аргументация их постоянства подробно приведена в «ключах».

Задача 3. Ежегодное внимание

2. На втором этапе решения – определении пространственной скорости звезды – могут возникнуть сложности при определении модуля трансверсальной скорости, если участник забудет поправить изменение прямого восхождения на косинус склонения – аналогично расстоянию между меридианами на известной широте в географии: $\mu = \sqrt{\mu\delta^2 + (\mu\alpha \cdot \cos\delta)^2}$

Расчет трансверсальной компоненты скорости сильно упрощается с точки зрения единиц измерения, если участник вспомнит классическую формулу с учетом их перевода:

$V\tau = 4{,}74\ \mu/\pi$



Дальнейшие действия просты и отсылают в курс физики 9 класса: нужно получить длину вектора по известным длинам его проекций.

Очень поможет в дальнейшем и определение угла α, под которым вектор полной скорости развернут к лучу зрения – по значению тангенса этого угла, который опять же получается из компонент полной скорости.

О направлении вектора полной скорости «к наблюдателю» свидетельствует отрицательное значение лучевой компоненты полной скорости.

Задача 3. Ежегодное внимание

3. Последний этап решения задачи основан на формуле Погсона и законе освещенностей

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

Одно из расстояний известно, найдя второе, на котором выполняется условие увеличения яркости звезды, получаем треугольник, который решается применением теорем синусов (угол) и косинусов (сторона).

Числовой ответ требует аккуратности в подстановках чисел и переводе единиц измерения.



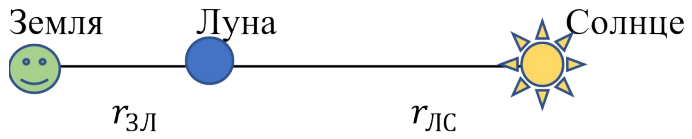
Задача 4. Прощай, полное затмение!



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?*

1. Для решения этой задачи важно внимательно и аккуратно записать Закон Всемирного тяготения для двух пар масс, приравнять действующие силы согласно условию задачи, решить уравнение, уменьшив число переменных, и рассчитать наименьшее расстояние относительно полученных долей. Значения масс приведены в справочных материалах.



Задача 4. Прощай, полное затмение!

2. При ответе на второй вопрос участник может вывести самостоятельно, а может и вспомнить классическую формулу определения угловых размеров небесного тела на известном расстоянии с использованием количества секунд в радиане 206265: $\rho_{Л} = \frac{206265'' \cdot D_{Л}}{r_{ЛЗ}}$

3. Третий вопрос предполагает знание условий, при которых может наступить затмение Солнца Луной и учет угловых размеров небесных тел на одной линии их геометрических центров. Числовой ответ предполагает расчет отношения площадей Луны и Солнца в угловых единицах (угловой размер Солнца известен, Луны - рассчитан в п.2)

Невнимательность может привести к использованию в одном и том же расчете углового диаметра для одного светила и углового радиуса для другого.



Задача 5. Хочу портрет!

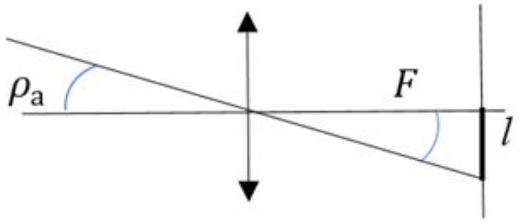


Астероид с большой полуосью орбиты a = 0,69 а.е. пытаются сфотографировать в момент наибольшего углового удаления от Солнца камерой в фокусе телескопа с фокусным расстоянием F = 15 м и диаметром объектива D = 4,8 м. Размер астероида 2R =10 км.

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 ln= 1 мкм?*

Орбиты Земли и астероида считать круговыми, лежащими в одной плоскости. Атмосферным дрожанием пренебречь.

1. В решении задачи участником должны быть продемонстрированы верные представления о строении Солнечной Системы и движении тел вокруг Солнца по круговым орбитам: тело с указанной полуосью орбиты движется внутри орбиты Земли (0.69 а.е.< 1 а.е.), расстояние до него в наибольшем угловом удалении от Солнца (в элонгации) определяется решением прямоугольного треугольника по теореме Пифагора.
2. Угловой размер астероида определяется по уже упомянутой в разборе Задачи 4 формуле с использованием числа 206265″ по найденному в п.1 расстоянию. Далее предполагается использование сведений из геометрической оптики для определения линейных размеров объекта на матрице в фокальной плоскости: проходящий через главный оптический центр объектива луч не меняет своего направления:



Задача 5. Хочу портрет!

- Самым главным в правильном решении этой задачи является сравнение угловых размеров астероида и разрешающей способности телескопа. Ее находим по классической формуле для видимого света $\theta = \frac{138''}{D\ \text{мм}}$ или по более общей $\theta = 1{,}22\,\frac{\lambda}{D} \cdot 206265''$, подставив длину волны 550 нм и не ошибившись в размерностях.
- При сравнении замечаем, что телескоп не сможет построить изображение астероида, т.к. его наименьший угол разрешения θ больше угловых размеров астероида

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

На месте астероида будет световой кружок.

Задача 5. Хочу портрет!

3. Для ответа на последний вопрос задачи опять-таки по известной формуле находим линейный размер светового кружка и делим его на линейный размер пикселя. Полученное число 2,1 не должно вводить в заблуждение: изображение фактически получается на трех пикселях по диаметру, но весь кружок захватит площадку в 9 пикселей. Это и есть правильный ответ.

К сожалению, в данном случае никаких «портретных» деталей астероида получить не удастся.



Задача 6. Орбитальный ... чайник*

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?



1. Ответ на первый вопрос задачи предполагает анализ классических формул для синодических периодов внутренних и внешних планет и аккуратный счет.
2. Далее, глядя на единицы измерения периода, участник должен вспомнить упрощенную запись III закона Кеплера и вычислить большую полуось орбиты чайника в астрономических единицах, используя данные о том, что орбита круговая. Для ответа на второй вопрос могут быть использованы средние расстояния планет Солнечной системы от Солнца из справочных данных. Там они приведены в а.е. и км.

* По мотивам популярной серии книг «Для чайников», т.е. новичков

Задача 6. Орбитальный ... чайник

3. Для определения самого близкого расстояния от наблюдателя до объекта участнику стоит проанализировать взаимные расположения чайника и Земли по определенной в п. 2 большой полуоси орбиты. Самой близкой оказывается конфигурация противостояния. Далее, вычитая большие полуоси и разделив полученное расстояние в а.е. на известное время прохождения светом от Солнца до Земли - 1 а.е. (8 минут или 500 секунд), получаем численный ответ.

