Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2018/2019 учебный год
Муниципальный этап
ОТВЕТЫ
Возможные решения задач и критерии оценивания (7 класс)

Задание 1 (8 баллов)
Решение.
1) Лунное затмение.
2) Метеорный поток или метеорный дождь.
3) Кольцеобразное солнечное затмение (или просто солнечное затмение).
4) Прохождение Венеры по диску Солнца (или прохождение планеты по диску Солнца).
5) Полярное сияние.
6) Восход или заход Солнца.
Оценивание.
За правильное название небесного явления (рисунки 1–4) – по 1,5 балла.
За правильное название небесного явления (рисунки 5,6) – по 1 баллу.

Задание 2 (8 баллов)
Решение.
1) По ошибке в список попала галактика.
2) Все остальные объекты принадлежат Солнечной системе.
Оценивание.
1 пункт решения – 3 балла.
2 пункт решения – 5 баллов.
Примечание: Возможно указание кроме галактики еще Солнца с объяснением, что эти объекты сами излучают свет. Это решение оценивается в 8 баллов.

Задание 3 (8 баллов)
Решение.
1) Один из возможных вариантов рисунка.

При оценивании рисунка надо обращать внимание на то, чтобы терминатор (граница светло/темно на поверхности Луны) проходил через полюса Луны (т.е. недопустимо рисование фазы, как «откушенное яблоко»).
2) Основными фазами обычно считают ***полнолуние***, ***последнюю четверть***, ***новолуние***, ***первую четверть***. Здесь перечислены фазы Луны в том порядке, в котором они приведены на рисунке.
3) При описываемом положении Луны будет наблюдаться последняя четверть.
Оценивание.
За правильный рисунок – 2 балла.
За указание названий основных фаз – по 1 баллу за каждую фазу.
За правильное определение фазы Луны на рисунке – 2 балла.

Задание 4 (8 баллов)
Решение.
1) Так как Земля движется по орбите радиуса 1 а.е., то минимальное расстояние от «Вояджера-1» до нашей планеты (144 – 1) а.е. = 143 а.е.
2) 1 астрономическая единица – расстояние от Земли до Солнца – 149600000 км = $149{,}6\cdot10^9$ м.
3) Расстояние от «Вояджера-1» до нашей планеты в км: $21392{,}8\cdot10^9$ м.
4) Делим расстояние на скорость света в вакууме: $t = 21392{,}8\cdot10^9 / 3\cdot10^8 = 71309{,}3$ с = 1188,5 мин = 19 ч 48,5 мин. Таким образом, сигнал идет около 20 часов.
Оценивание.
1 пункт решения – 3 балла.
2 пункт решения – 1 балл.
3 пункт решения – 2 балла.
4 пункт решения – 2 балла.

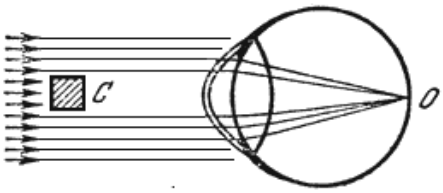
ОТВЕТЫ

Возможные решения задач и критерии оценивания (8 класс)

Задание 1 (8 баллов)
Решение.
1) Земля – 1.
2) Сатурн – 5.
3) Юпитер – 3.
4) Меркурия на рисунке нет, и по условию его быть не могло, т.к. на планете отсутствует атмосфера, а значит, и облака.
Оценивание.
За каждый правильный ответ по **2 балла**.

Задание 2 (8 баллов)
Решение.
1) Согласно третьему закону Кеплера: $\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$.
2) Период обращения Земли вокруг Солнца равен 1 году, Земля двигается относительно Солнца практически по окружности, то есть большая полуось орбиты Земли близка к 1 а.е.
3) Тогда большая полуось Энке равна $a = 3.3^{2/3} \approx 2.22$ а.е.
4) Максимальное удаление от Солнца: $2a - r_{\min} = 4.11$ а.е.
Оценивание.
Третий закон Кеплера (пункт 1 решения) – 2 балла.
Период обращения и большая полуось Земли или другой планеты для нахождения большой полуоси кометы (пункт 2 решения) – 2 балла.
Определена большая полуось кометы (пункт 3 решения) – 2 балла.
Найдено максимальное удаление от Солнца (пункт 4 решения) – 2 балла.

Задание 3 (8 баллов)
Решение.
1) Звезду в этой задаче можно рассматривать как точечный источник света, удаленный на бесконечно большое расстояние. В этих условиях все лучи от одной звезды, попадающие в глаз, параллельны.
2) Зрачок же нашего глаза в этой задаче не может считаться точкой. Тем более он не является ею ночью, когда вы экспериментируете со звездами: приспосабливаясь к темноте, зрачок максимально расширяется, чтобы побольше пропустить света. В темноте диаметр человеческого зрачка расширяется до 6 мм и более.
3) Создаваемая звездой тень спички, падая на зрачок, не покрывает его полностью. Поэтому при любом положении спички С (рис.) часть лучей от звезды проходит в зрачок и образует на сетчатке глаза в точке О изображение звезды.



4) При этом звезда кажется просвечивающей сквозь спичку, но, разумеется, выглядит ***менее яркой***, так как часть ее лучей перехватывается спичкой.

Оценивание.

1 пункт решения – 2 балла.
2 пункт решения – 2 балла.
3 пункт решения (с рисунком) – 2 балла.
(без рисунка) – 1 балл.
4 пункт решения – 2 балла.

Задание 4 (8 баллов)

Решение.

1) Так как Земля движется по орбите радиуса 1 а.е., то минимальное расстояние от «Вояджера-1» до нашей планеты (144 – 1) а.е. = 143 а.е.

2) 1 астрономическая единица – расстояние от Земли до Солнца – 149600000 км = $149{,}6 \cdot 10^9$ м.

3) Расстояние от «Вояджера-1» до нашей планеты в км: $21392{,}8 \cdot 10^9$ м.

4) Делим расстояние на скорость света в вакууме: $t = 21392{,}8 \cdot 10^9 / 3 \cdot 10^8 = 71309{,}3$ с = 1188,5 мин = 19 ч 48,5 мин. Таким образом, сигнал идет около 20 часов.

Оценивание.

1 пункт решения – 3 балла.
2 пункт решения – 1 балл.
3 пункт решения – 2 балла.
4 пункт решения – 2 балла.

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2018/2019 учебный год
Муниципальный этап
ОТВЕТЫ
Возможные решения задач и критерии оценивания (9 класс)

Задание 1 (8 баллов)
Решение.
1) Солнце движется по небесной сфере по эклиптике.
2) Зимой Солнце в наших широтах находится низко над горизонтом – так зимой днем проходит эклиптика. Летом Солнце оказывается в противоположной части эклиптики, которая летом днем проходит высоко над горизонтом.
3) Полная Луна на небе расположена противоположно Солнцу.
4) Т.е. летом она находится в той части эклиптики, где Солнце было зимой (поэтому она будет проходить низко над горизонтом), а зимой Луна находится там, где Солнце было летом и поэтому – высоко над горизонтом.
Оценивание.
1 пункт решения – 2 балла.
2 пункт решения – 2 балла.
3 пункт решения – 2 балла.
4 пункт решения – 2 балла.

Задание 2 (8 баллов)
Решение.
1) Больше всего разных звёзд на протяжении года будет видно на экваторе Земли.
2) На экваторе Земли в течение суток восходят и заходят все звезды.
3) Часть звезд в течение суток мешает наблюдать Солнце, однако, за год здесь можно увидеть все звёзды обоих полушарий небесной сферы.
4) Географическая широта Северного полюса земного шара равна 90°. Значит, полюс мира (и Полярная звезда) будет находиться прямо над головой – в зените. Нетрудно сообразить, что небесный экватор будет здесь, на Северном полюсе, совпадать с линией горизонта. Благодаря этому на Северном полюсе вы увидите необычную картину движения звезд: перемещаясь всегда по путям, параллельным небесному экватору, звезды движутся параллельно горизонту. Здесь все звезды северного полушария неба будут незаходящими, а южного — невосходящими.
Оценивание.
1 пункт решения – 2 балла.
2 пункт решения – 2 балла.
3 пункт решения – 2 балла.
4 пункт решения – 2 балла.

Задание 3 (8 баллов)
Решение.
1) Расстояние увеличилось в 1,6 раза.
2) Яркость уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния до объекта.
3) Видимая яркость уменьшилась в $(1{,}6)^2 = 2{,}56 \approx 2{,}5$ раз.
4) Это соответствует изменению ровно на одну звездную величину.
5) Следовательно, видимая «звездная» величина фонаря будет 2^m.
Оценивание.
1 пункт решения – 1 балл.
2 пункт решения – 2 балла.
3 пункт решения – 1 балла.
4 пункт решения – 2 балла.
Получен правильный ответ – 2 балла.

Задание 4 (8 баллов)
Решение.

1) Первая космическая скорость до столкновения $\upsilon \approx \sqrt{G\frac{M}{R^2}R} = \sqrt{G\frac{M}{R}}$, а после столкновения: $\upsilon_0 \approx \sqrt{G\frac{M_0}{R_0}}$. Здесь M и M_0 – масса планеты до и после столкновения, R и R_0 – радиус Земли до и после столкновения.

2) Поскольку масса планеты пропорциональна ее объему, а объем пропорционален радиусу планеты в кубе, то $\upsilon \approx \sqrt{G\frac{R^3}{R}} \approx R, \quad \upsilon_0 \approx \sqrt{G\frac{R^3}{R}} \approx R_0$

3) Следовательно, $\upsilon / \upsilon_0 \approx 2/1$, первая космическая скорость уменьшилась в 2 раза.

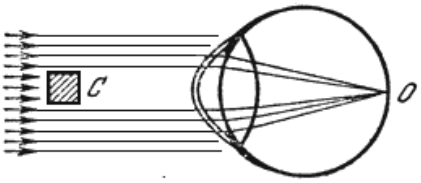
Оценивание.
Выражение для первой космической скорости – 3 балла.
Зависимость массы от радиуса планеты – 3 балла.
Правильный ответ – 2 балла.

Задание 5 (8 баллов)
Решение.

1) Звезду в этой задаче можно рассматривать как точечный источник света, удаленный на бесконечно большое расстояние. В этих условиях все лучи от одной звезды, попадающие в глаз, параллельны.

2) Зрачок же нашего глаза в этой задаче не может считаться точкой. Тем более он не является ею ночью, когда вы экспериментируете со звездами: приспосабливаясь к темноте, зрачок максимально расширяется, чтобы побольше пропустить света. В темноте диаметр человеческого зрачка расширяется до 6 мм и более.

3) Создаваемая звездой тень спички, падая на зрачок, не покрывает его полностью. Поэтому при любом положении спички С (рис.) часть лучей от звезды проходит в зрачок и образует на сетчатке глаза в точке О изображение звезды.

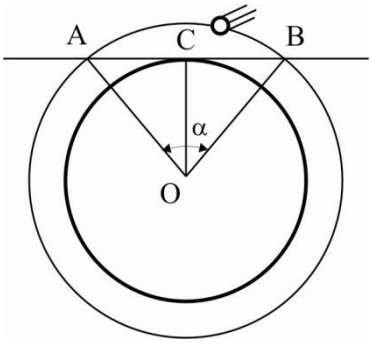


4) При этом звезда кажется просвечивающей сквозь спичку, но, разумеется, выглядит ***менее яркой***, так как часть ее лучей перехватывается спичкой.

Оценивание.
1 пункт решения – 2 балла.
2 пункт решения – 2 балла.
3 пункт решения (с рисунком) – 2 балла.
(без рисунка) – 1 балл.
4 пункт решения – 2 балла.

Задание 6 (8 баллов)

Решение.



Нарисуем схему пролета МКС (см. рис.: т. О – центр Земли, т. С – положение наблюдателя, отрезок АВ – горизонт). Для вычисления времени пролета МКС найдем сначала период её обращения вокруг Земли, а потом длину дуги АВ. Отношение длины дуги АВ к длине окружности (в линейной или угловой мере) будет равно отношению времени пролета МКС над горизонтом (по дуге АВ) к периоду обращения.

Период обращения можно вычислить разными способами. Как известно, первая космическая скорость равна V=7.9 км/с.

Длина орбиты спутника $L=2*3.14*R=6.28*(R_З+H)=42700$ км.

Период обращения МКС T = L/V=5400 сек=90 мин.

Длину дуги АВ или угол α найдем из треугольника АОВ. Треугольник АОС – прямоугольный. $CO = R_З$, $AO = R_З+H$. Из него находим: $\alpha/2 = \arccos(CO/AO) = \arccos(6400/6800)=19.75°$, а значит длина дуги АВ равна 39.5°.

Отсюда, время пролета МКС над горизонтом будет равно: $t = (39.5/360)*T=590$ сек=9 мин 50 с.

Оценивание.

Представлен рисунок, с указанием необходимых элементов – 2 балла.

Указано значение первой космической скорости – 1 балл.

Определена длина орбиты МКС – 1 балл.

Определен период обращения МКС – 1 балл.

Определена длина дуги АВ – 2 балла.

Найдено время пролета МКС над горизонтом – 1 балл.

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2018/2019 учебный год
Муниципальный этап
ОТВЕТЫ
Возможные решения задач и критерии оценивания (10 класс)

Участники олимпиады могут представить другие варианты решений задач, которые нужно оценивать в баллах по наличию приведенных ниже фактов описания явлений или этапов решений задач.
***Решения с грубыми ошибками оцениваются* в *0 баллов*.**
Наибольшее количество баллов за правильное полное решение каждой задачи ***– 8 баллов***.

Задача 1. ***Метеором*** или «***падающей звездой***» называют явление, возникающее при сгорании в атмосфере Земли (***1 балл***) мелких метеорных тел, например, осколков комет или астероидов (***1 балл***). ***Болидом*** называется явление аналогичное метеору, но значительно большей интенсивности свечения (***1 балл***): ярче звёздной величины -4^m (***1 балл***). Иногда в конце следа болида наблюдается разрушение метеорного тела (***1 балл***). ***Метеоритом*** называют тело космического происхождения, упавшее на поверхность крупного небесного объекта (***1 балл***). На Земле широко встречаются метеориты малой массы (***1 балл***). Метеориты большой массы могут вызывать сильные ударные волны, значительные повреждения ландшафта и изменения состава атмосферы (***1 балл***).

Задача 2. Астероид наблюдается в противостоянии, следовательно он двигается по внешней орбите по отношению к Земле. Его синодический период обращения S приближённо равен двум годам: $S \approx 2$ года (***1 балл***). Он связан с сидерический периодом обращения T:

$1/S = 1/T_З - 1/T$ (***1 балл***),

где $T_З$ – период обращения Земли вокруг Солнца: $T_З = 1$ год. Получаем, что $T = 2$ года (***1 балл***).

По третьему закону Кеплера

$a^3/T^2 = a_З^3/T_З^2$ (***1 балл***),

где a, $a_З$ – большие полуоси орбит астероида и Земли ($a_З = 1$ а.е.). Для астероида получаем $a \approx 1{,}587$ а.е. (***1 балл***).

Ближайшей большой планетой является Марс, у которого большая полуось орбиты

$a_М = 1{,}524$ а.е. (***1 балл***).

Наименьшее расстояние между небесными телами по условиям задачи определяется разностью больших полуосей орбит:

$a - a_М \approx 1{,}587 - 1{,}524 \approx 0{,}063$ а.е. (***2 балла***).

Задача 3. Высота h верхней кульминации звезды, широта места наблюдения φ_c и склонение δ светила для наблюдателя в северном полушарии Земли (***1 балл***) взаимосвязаны соотношением

$\varphi_c + h - \delta = 90°$ (***1 балл***).

Отсюда находится склонение Сириуса $\delta = -16°\,39'$ (***1 балл***). Соответственно, широта второго наблюдателя равна $\varphi_{c2} = 46°\,21'$ северной широты (***1 балл***).

Второй любитель астрономии также может находиться в южном полушарии (***1 балл***). Для него соотношение между высотой светила, широтой и склонением можно записать в виде

$|\varphi_ю| + h - |\delta| = 90°$ (***2 балла***).

В этом случае, у второго наблюдателя $\varphi_{ю2} = -79°\,39'$ (южная широта) (***1 балл***).

Задача 4. При значительном удалении объекта его угловой размер α можно выразить в радианах как отношение линейного размера d к расстоянию r до объекта:

$\alpha = d/r$ (***1 балл***). (1)

Так как 1 рад = 206 265 угловых секунд, то соотношение (1) записывается в виде:

$\alpha'' = 206265d/r$ (***2 балла***). (2)

Отсюда следует:

$d = \alpha''r / 206265$.

Для высоты h и протяжённости l образования получаем значения:

h = 0,85•384000 / 206265 км = 1580 м (***1 балл***),

l = 2,5•384000 / 206265 км = 4650 м (***1 балл***).

Характерные лунные горы называются кратерами (***1 балл***). Они возникли при падения на Луну достаточно крупных метеоритов (***1 балл***). В результате на поверхности Луны образовались кольцевые горы (***1 балл***).

Задача 5. Поскольку объект однородный, то всплески излучения одновременно генерируются по всей его поверхности. При этом свет от передней части объекта приходит к наблюдателю раньше, чем от видимых краёв наблюдаемого диска (***1 балл***). Разница во времени определяется скоростью света c и радиусом r объекта:

t = r/c (***2 балла***).

Следовательно, период колебания яркости T однородного объекта не может быть меньше интервала t:

T ≥ t, (***1 балл***).

В противном случае импульсы излучения от разных частей объекта будут накладываться во времени друг на друга, создавая практически непрерывное излучение. Наибольший радиус R объекта равен:

R = cT (***1 балл***).

Наибольшее расстояние D до объекта равно:

D = 2cT/α (***1 балл***),

где α = 0,001″ – угловой размер объекта.

D = 2•3•10^8•3600•206265/0,001 = 4,46•10^{20} м = 14,5 кпк (***2 балла***).

Задача 6. Видимая m и абсолютная M звездные величины связаны соотношением
M = m + 5 – 5 lg D (пк) (***2 балла***),

D – расстояние до звезды, выраженное в парсеках. Поскольку 1 пк равен 3,26 св. лет, то

D = 65 св. лет = 19,9 пк (***1 балл***).

M = 0,85 + 5 – 5 lg 19,9 = – $0,65^m$ (***2 балла***).

Светимость L, выраженная в единицах светимости Солнца L_C, вычисляется по формуле

lg L = 0,4(5 – M) (***2 балла***),

L = 182•L_C(***1 балл***).

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2018/2019 учебный год
Муниципальный этап
ОТВЕТЫ
Возможные решения задач и критерии оценивания (11 класс)

Задача 1. На рисунке обозначены: P, P′ – северный и южный полюса мира; N, W, S – точки севера, запада и юга; NWS – проекция плоскости истинного горизонта; QQ′, EE′ – проекции плоскостей небесного экватора и эклиптики; φ – угол, равный широте места наблюдения; ε – угол между плоскостями эклиптики и экватора; α – угол между плоскостями истинного горизонта и экватора; 1 – стрелка направления движения Солнца по эклиптике, 2 – стрелка направления суточного движения Солнца вместе с небесной сферой. *В решении может быть несколько иной рисунок, отражающий движение Солнца через точку W. Полный рисунок* ***– 3 балла****. Минимальное содержание рисунка*: ***точка W***, ***углы*** **ε**, **α** и ***стрелка*** **2** направления движения Солнца ***– 2 балла***.

При закате в момент равноденствия Солнце находится в точке W (***1 балл***) и участвует в двух движениях (***1 балл***): 1 – по эклиптике и 2 – вместе с небесной сферой. Первое движение достаточно медленное, и им можно пренебречь, второе достаточно быстрое, и его нужно учитывать (***1 балл***). Так как в точке W вектор скорости Солнца перпендикулярен лучу зрения наблюдателя и практически ориентирован вдоль экватора QQ′ (***1 балл***), то оценку искомой скорости перемещения $\omega_п$ проекции центра солнечного диска можно выполнить по величине угловой скорости $\omega_с$ суточного вращения небесной сферы:

$\omega_п = \omega_с \cdot \cos\alpha = \omega_с \cdot \cos(90° - \varphi) \approx 6{,}16 \cdot 10^{-5}$ 1/с (***1 балл***).

Задача 2. Поскольку поле тяготения является потенциальным полем, то оценку скорости астероида на значительном удалении от Солнца можно сделать на основании закона сохранения энергии:

$mv_1^2/2 - GmM/r_1 = mv_2^2/2 - GmM/r_2$ (***2 балла***),

m, M – массы астероида и Солнца, v_1 и v_1 – скорости астероида соответственно на расстояниях r_1 и r_2 от Солнца, $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг•с) – гравитационная постоянная.

В перигелии $r_1 = 0{,}255 \cdot 149{,}6 \cdot 10^9$ м $= 38{,}15 \cdot 10^9$ м (***1 балл***). При значительном удалении от Солнца расстояние r_1 можно считать равным бесконечности (***1 балл***). Тогда для искомой скорости относительно Солнца получаем:

$v_2^2 = v_1^2 - 2GM/a_1 \approx 26{,}4$ км/с (***2 балла***).

Эта скорость на бесконечном удалении от Солнца сравнима со скоростью движения Земли по орбите, т. е. очень велика. Следовательно гравитационное поле Солнца не может удержать астероид в Солнечной системе (***1 балл***). Этот астероид является космическим пришельцем и через некоторое время покинет Солнечную систему (***1 балл***).

Задача 3. Горизонтальным параллаксом планеты называется угол p = 0,9″, под которым с планеты виден радиус Земли R = 6 370 км. Радиус Земли, расстояние до планеты r и параллакс связаны соотношением

tg p = R/r (***1 балл***).

Отсюда, для расстояния r при малом p, выраженном в угловых секундах, получаем:

r = R/tg p, или r = R•206265″/p″ (***2 балла***),

вычисляем $r = 1{,}460 \cdot 10^9$ км = 9,77 а.е. (***1 балл***).

При радиолокации планеты время ожидания отражённого сигнала определяется интервалом времени t, прошедшего с момента излучения сигнала до момента приема отражённого сигнала (***1 балл***). Оно вычисляется по скорости света c и расстоянию до планеты:

t = 2r/c (***2 балла***),

следовательно, t ≈ 9733 с = 162 мин = 2 ч 42 мин (***1 балл***).

Задача 4. Поскольку наибольшее расстояние между звёздами наблюдается через каждые 50 лет, то период T обращения звёзд составляет 100 лет (***1 балл***). Массы m_1 и m_2 относятся обратно пропорционально расстояниям r_1 и r_2 звёзд от центра масс:

$m_1 / m_2 = r_2 / r_1 = 4 / 1$, $m_1 = 4m_2$, $r_2 = 4r_1$ (***1 балл***).

Рассматривая движение второй звезды относительно первой, получаем круговую орбиту второй звезды с радиусом $R = r_1 + r_2$, который является наибольшим расстоянием между звёздами. Для этой орбиты и орбиты Земли записывается уточнённый третий закон Кеплера:

$(m_1 + m_2)T^2/ R^3 = (M_C + m_3)T_3^2/ a^3$ (***2 балла***).

Здесь M_C и m_3 – массы Солнца и Земли, T_3 = 1 год, a = 1 а.е. Пренебрегая массой Земли получаем:

$(m_1 + m_2) = M_C R^3/ T^2$ (***1 балл***).

Радиус R вычисляется через угловой размер α и параллакс p:

$R(\text{а.е.}) = \alpha / p$, $\alpha = 2{,}5''$, $p = 0{,}05''$ (***1 балл***),

$(m_1 + m_2) / M_C = (2{,}5/0{,}05)^3/ 100^2 = 12{,}5M_C$ (***1 балл***).

$5m_2 = 12{,}5M_C$, $m_2 = 2{,}5M_C$, $m_1 = 10M_C$ (***1 балл***)

Задача 5. Видимая m и абсолютная M звездные величины связаны соотношением

$M = m + 5 – 5 \lg D$ (пк) (***1 балл***),

D – расстояние до звезды, выраженное в парсеках. Поскольку 1 пк равен 3,26 св. лет, то

D = 310 св. лет = 95,1 пк (***1 балл***).

$M = 3{,}65 + 5 – 5 \lg 95{,}1 = – 1{,}24^m$ (***1 балл***).

Светимость L, выраженная в единицах светимости Солнца L_C, вычисляется по формуле

$\lg L = 0{,}4(5 – M)$ (***1 балл***),

$L = 313 \cdot L_C$ (***1 балл***).

В соответствии с законом Стефана-Больцмана светимость звезды вычисляется по её радиусу R и температуре фотосферы T:

$L = 4\pi R^2\sigma T^4$ (***1 балл***),

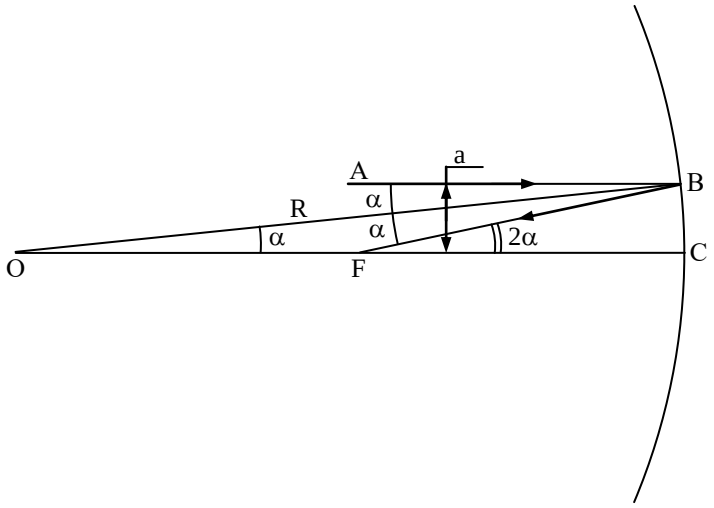
σ – постоянная Стефана-Больцмана. Искомую светимость можно выразить через светимость L_C, радиус R_C и температуру фотосферы T_C Солнца:

$L = R^2T^4L_C / R_C^2T_C^4$,

откуда получаем

$R = R_C(T_C / T)^2 (L / L_C)^{1/2}$ (***1 балл***),

$R = 5{,}91 \cdot R_C = 4{,}11 \cdot 10^9$ м (***1 балл***).



Задача 6. На рисунке фокус главного зеркала F показан как вершина конуса отраженных зеркалом лучей, идущих параллельно главной оптической оси OC: O – центр кривизны зеркала, AB – параллельный луч, идущий на расстоянии a от оси, BF – отражённый луч, радиус R, построенный в точку падения B, делит угол ABF на два равных угла согласно закона отражения. Требуется оценить расстояние FC.

*Правильный рисунок оценивается в **3 балла**.*

Для сторон треугольника OBF можно записать теорему синусов:

$FO/\sin \alpha = R/\sin(\pi – 2\alpha)$ (***2 балла***).

Отсюда:

$FO = R\sin \alpha / \sin(\pi – 2\alpha) = R / (2\cos \alpha) = R/(2(1 – \sin^2 \alpha)^{1/2})$ (***2 балла***).

Так как d << R, то угол α мал, величиной $\sin^2\alpha$ можно пренебречь: FO = R/2, FC = R/2 (***1 балл***).