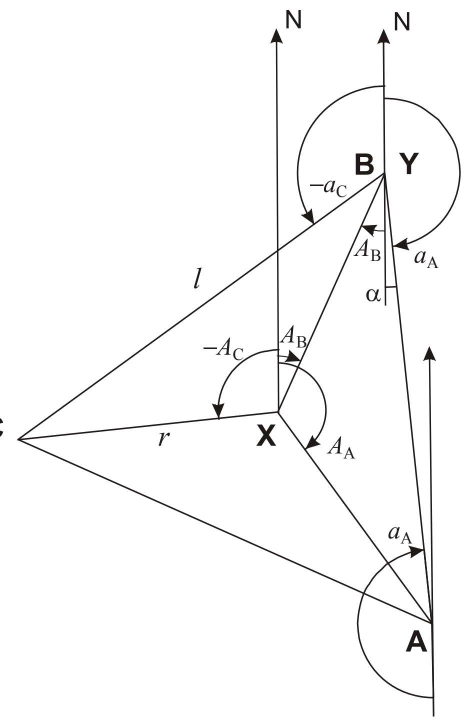
10 класс

1. Условие. В трех городах умеренного пояса Земли **A**, **B** и **C** звезда **X** наблюдалась одновременно на одинаковой высоте 87.0° градусов. Астрономические азимуты звезды **X** в этих городах были равны соответственно 144°, 24° и –96°. Определите горизонтальные координаты звезды **Y** в городах **A** и **C**, когда она наблюдается в зените в городе **B** (*А.В. Ребриков*).

1. Решение. По условию задачи мы видим, что города **A**, **B** и **C** находятся близко друг другу в масштабах Земли, коль скоро одна и та же звезда одновременно находилась там вблизи зенита, всего в z_X=3° от него. Более того, города располагаются в умеренном поясе, вдали от полюсов. Тогда мы можем рассматривать треугольник **ABC** на плоскости. Отметим на нем же точку **X**, из которой звезда **X** в этот момент видна в зените. Эта точка будет равноудалена от вершин треугольника.



Нам известны астрономические азимуты звезды **X** при наблюдении из вершин треугольника. Азимут есть угол между направлением на юг и на проекцию звезды **X** на горизонт, то есть на точку **X** на рисунке, он отсчитывается против часовой стрелки. На примере пункта **B** на рисунке мы видим, что этот угол равен углу с вершиной в точке **X** от направления на север к направлению на пункт наблюдения (для точки **B** – угол A_B). По условию задачи мы видим, что азимуты отличаются друг от друга на 120°. Таким образом, треугольник **ABC** – равносторонний, а точка **X** является его центром. Обозначим сторону этого треугольника как l.

Звезда **Y** в какой-то момент времени (не обязательно совпадающий с моментом, описанным для звезды **X**) оказывается в зените в пункте **B**, то есть точка проекции направления на звезду на плоскость рисунка **Y** совпадает с точкой **B**. Учитывая близость всех пунктов, мы можем записать, что зенитное расстояние z_Y этой звезды в точках **A** и **C** относится к зенитному расстоянию звезды **X** во всех трех пунктах z_X как длины соответствующих отрезков:

$$\frac{z_Y}{z_X} = \frac{l}{r} = \sqrt{3}.$$

Здесь мы использовали известное свойство равностороннего треугольника. Отсюда мы имеем, что зенитное расстояние звезды **Y** в точках **A** и **C** равно 5.2°, и высота составляет 84.8°.

Аналогично сделанным выше рассуждениям, азимут звезды **Y** при наблюдении из точек **A** и **C** есть угол с вершиной в точке **Y** от направления на север к направлению на соответствующий пункт. Для города **A** мы видим, что этот угол равен

$$a_A = 180° - \alpha = 180° - (30° - A_B) = 174°.$$

Для города **C** азимут звезды **Y** составит

$$a_C = a_A + 60° = 234° \text{ или } -126°.$$

1. Система оценивания.

<u>1 этап – 2 балла.</u> Обоснование, что три города образуют на поверхности Земли равносторонний треугольник. Если этот факт не указывается – этап не засчитывается, остальные оцениваются, исходя из их выполнения. Если данное утверждение делается без соответствующего обоснования – этап оценивается в 1 балл.

<u>2 этап – 2 балла.</u> Определение высоты звезды **Y** в пунктах **A** и **B**, точность 0.1°.

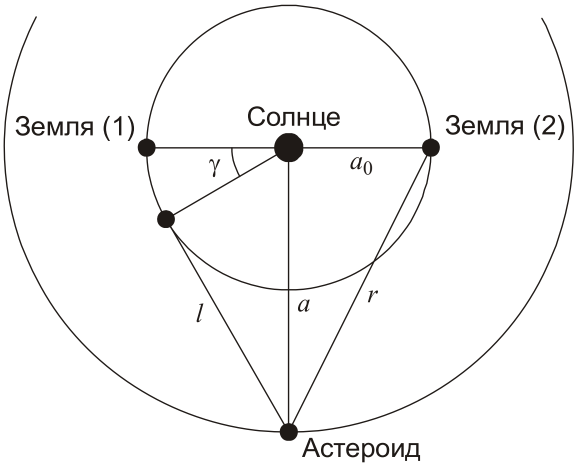
<u>3 этап – 4 балла.</u> Определение азимутов звезды **Y** в пунктах **A** и **B** (по 2 балла), точность 1°.

Максимальная оценка за решение задания – 8 баллов.

2. Условие. В текущий момент модуль разности гелиоцентрических долгот Земли и астероида составляет 90°. Сколько времени пройдет до западной квадратуры астероида, если текущее расстояние от Земли до астероида в 1.29 раза превышает расстояние между ними в момент квадратуры? Орбиты Земли и астероида считать круговыми и лежащими в одной плоскости, движение астероида происходит в том же направлении, что и движение Земли (*А.В. Веселова*).

2. Решение. В условии не сказано напрямую, как именно относительно Земли расположен астероид – обгоняет или отстает в своем движении по орбите. Поэтому потребуется рассмотреть оба варианта расположения объектов.

Пусть a – радиус орбиты астероида, a_0 – радиус земной орбиты. Рисунок построен в системе отсчета, вращающейся вместе с астероидом, то есть он там неподвижен, а Земля догоняет его в своем вращении. Пусть астероид обгоняет Землю (положение 1), тогда западная квадратура наступит вскоре по ходу синодического периода, до противостояния астероида.



Расстояние до астероида в момент, когда разность гелиоцентрических долгот, то есть угол с центром в Солнце между направлениями на Землю и астероид, равен 90°, вычисляем по теореме Пифагора:

$$r = \sqrt{a^2 + a_0^2}\,.$$

Расстояние в западной квадратуре будет равно

$$l = \sqrt{a^2 - a_0^2}\,.$$

Отношение расстояний есть

$$\frac{\sqrt{a^2 + a_0^2}}{\sqrt{a^2 - a_0^2}} = 1.29.$$

Отсюда выразим радиус орбиты астероида:

$$a^2 = \frac{1.29^2 + 1}{1.29^2 - 1}; \quad a = \sqrt{\frac{1.29^2 + 1}{1.29^2 - 1}} = 2.00 \text{ а.е.}$$

Оценим синодический период астероида:

$$S = \frac{TT_0}{T - T_0} = \frac{2^{1.5} \cdot 1}{2^{1.5} - 1} = 1.55 \text{ лет.}$$

Определим, на какой угол должна уменьшиться разница гелиоцентрических долгот астероида и Земли (или на какой угол в системе отсчета астероида должна повернуться Земля):

$$\gamma = 90^\circ - \arccos\frac{a_0}{a} = 30^\circ.$$

Время, которое потребуется для прохождения данного угла, есть 1/12 синодического периода и составит 0.13 года.

Теперь предположим, что астероид отстает от Земли по долготе. Тогда разность долгот должна измениться на 180°+30° = 210°, и на это потребуется 7/12 синодического периода или 0.90 лет.

2. Система оценивания.

1 этап – 2 балла. Определение радиуса орбиты астероида, точность 0.02 а.е. При ошибке до 0.05 а.е. выставляется 1 балл.

2 этап – 2 балла. Определение синодического периода астероида, точность 0.03 года. При ошибке до 0.06 года выставляется 1 балл.

3 этап – 2 балла. Определение изменения разницы долгот астероида и Земли γ (1 балл) и времени, оставшегося до квадратуры, для первого случая (1 балл), точность 0.02 года.

4 этап – 2 балла. Определение изменения разницы долгот астероида и Земли γ (1 балл) и времени, оставшегося до квадратуры, для второго случая (1 балл), точность 0.06 года.

Максимальная оценка за решение задания – 8 баллов.

3. Условие. Кометное ядро радиусом 1 км и плотностью 0.5 г/см^3, двигавшееся по параболической траектории относительно Солнца в плоскости эклиптики навстречу Земле, упало на видимое полушарие Луны, высветив в оптическом диапазоне спектра 10% энергии своего падения в течение одной минуты. Во сколько раз стала ярче Луна в небе Земли в это время? Орбиты Земли и Луны считать круговыми, падение произошло в полнолуние (*О.С. Угольников*).

3. Решение. Перед падением на Луну кометное ядро двигалось в Солнечной системе с параболической скоростью

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{L}} = 42.1\ \text{км/с}.$$

Здесь M – масса Солнца, L – расстояние от Солнца до Земли. В этот момент Земля двигалась навстречу комете со скоростью

$$v_0 = \sqrt{\frac{GM}{L}} = 29.8\ \text{км/с}.$$

Коль скоро Луна в этот момент была в фазе полнолуния, она также двигалась навстречу комете с геоцентрической орбитальной скоростью v_L = 1.0 км/с. В итоге, селеноцентрическая скорость кометы составляла

$$u_0 = v + v_0 + v_L = 72.9\ \text{км/с}.$$

Перед падением эта скорость еще увеличилась за счет притяжения Луны. Однако, так как вторая космическая скорость на поверхности Луны (2.4 км/с) много меньше скорости u_0, а по закону сохранения энергии в этом случае складываются квадраты скоростей, эффект оказывается очень слабым. С точностью до первого знака после запятой скорость u_0 от притяжения Луны не меняется, оставаясь равной 72.9 км/с. Столь же незначительным оказывается фактор приближения кометного ядра к Земле. Зная плотность и размер кометного ядра, мы можем определить его кинетическую энергию

$$E = \frac{4}{3}\pi\rho r^3 \cdot \frac{u_0^2}{2} = 5.6 \cdot 10^{21}\ \text{Дж}.$$

Здесь r – радиус ядра. По условию задачи, в оптическое излучение переходит часть η этой энергии, высвечиваясь за время t. Отсюда мы получаем среднюю мощность излучения

$$J = \frac{E \cdot \eta}{t} = 9.3 \cdot 10^{18}\ \text{Вт}.$$

Определим плотность потока этого излучения на расстоянии Земли:

$$F = \frac{J}{4\pi R^2} = 5.0\ \text{Вт / м}^2.$$

Плотность потока от Солнца в оптическом диапазоне составляет 600 Вт/м^2. Луна слабее Солнца на 14.1^m или в $4.4 \cdot 10^5$ раз, и плотность потока энергии в видимом диапазоне от нее равен $1.37 \cdot 10^{-3}$ Вт/м^2. После падения кометного ядра Луна на минуту станет ярче в 3600 раз.

3. Система оценивания.

1 этап – 2 балла. Нахождение селеноцентрической скорости кометного тела как суммы трех составляющих. Если участник не учитывает орбитальную скорость Луны и ошибается на 1 км/с – оценка уменьшается на 1 балл, если не учтена или неверно учтена одна из двух больших составляющих – этап не засчитывается полностью.

2 этап – 2 балла. Определение мощности оптического свечения Луны после падения кометного ядра. Точность (без учета ошибок на первом этапе) – 5%.

3 этап – 2 балла. Вычисление плотности потока энергии от вспышки на Земле либо соответствующей звездной величины. Точность – 5% (или 0.05^m).

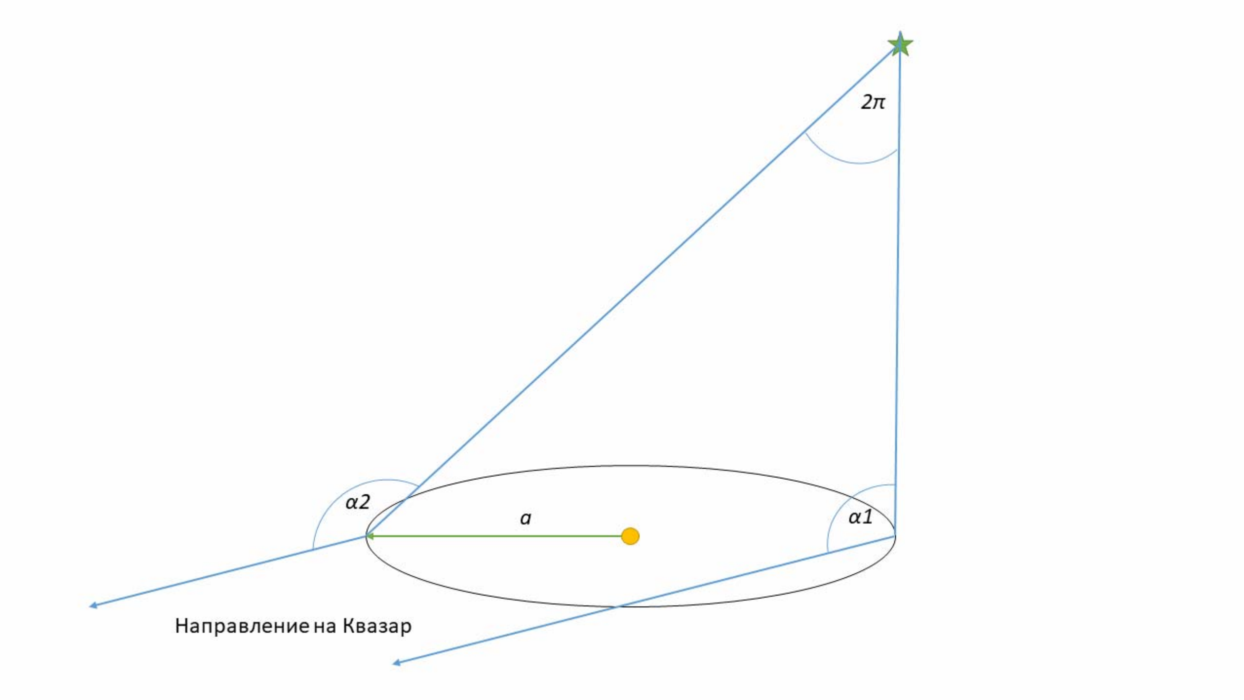
4 этап – 2 балла. Вычисление роста видимой яркости Луны во время вспышки. Точность 10%.

Максимальная оценка за решение задания – 8 баллов.

4. Условие. Космический аппарат Gaia очень точно определяет угловые расстояния на небе. Он находится на продолжении отрезка, идущего от Солнца к Земле, на расстоянии 1.5 миллиона километров за Землей. В ходе работы аппарат измеряет угловое расстояние между далеким квазаром «Опорный» (параллакс объекта равен нулю) и звездой «Исследуемая», которая находится в районе северного полюса эклиптики. В два момента года, когда северный полюс эклиптики, Солнце, Земля и объекты «Опорный» и «Исследуемая» находились в одной плоскости, были получены результаты угловых расстояний: 154.67854647° и 154.67855273°. Найдите расстояние до «Исследуемой» и ее абсолютную звездную величину, если видимая звездная величина равна 14.0^m. Межзвездным поглощением пренебречь (*А.А. Автаева*).

4. Решение. По условию задачи, направление на квазар не меняется (параллакс равен 0). Звезда «Исследуемая» располагается вблизи северного полюса эклиптики, то есть ее параллактическое смещение можно считать окружностью. Она будет оказываться ближе всего к квазару в тот момент, когда эклиптическая долгота аппарата Gaia будет отличаться от долготы квазара на 180°, и дальше его, когда их эклиптические долготы совпадут. Именно эти два момента описаны в условии задачи. Таким образом, наблюдаемый параллакс звезды

«Исследуемая» p есть радиус параллактической окружности или полуразность максимального и минимального углового расстояния, измеренного аппаратом:



$$p = (\alpha_2 - \alpha_1) / 2 = 3.13 \cdot 10^{-6\,\circ} = 11.27 \cdot 10^{-3\,\prime\prime}.$$

Точность измерения параллакса достаточно высокая, поэтому нужно учесть, что он измеряется не с орбиты Земли, а с расстояния в 1.01 а.е. от Солнца. Поэтому расстояние до звезды в парсеках есть

$$r = 1.01 / 11.27 \cdot 10^{-3} = 89.6 \text{ пк}.$$

Теперь мы можем найти абсолютную звездную величину звезды «Исследуемая»:

$$M = m + 5 - 5\lg r = +9.2.$$

4. Система оценивания.

<u>1 этап – 2 балла.</u> Вывод о том, что наблюдаемый параллакс звезды есть полуразность угловых расстояний до квазара в двух описанных случаях. Должен быть сделан на основе расположения светил на небесной сфере. Если этот факт подразумевается, но не обосновывается – данный этап не засчитывается, остальные оцениваются в полной мере, исходя из их выполнения.

<u>2 этап – 2 балла.</u> Определение параллакса звезды, точность 1%. Он может быть вычислен по отношению к телескопу (и тогда нужно учесть фактор 1.01 далее), либо переведен к земной орбите на этом же этапе решения.

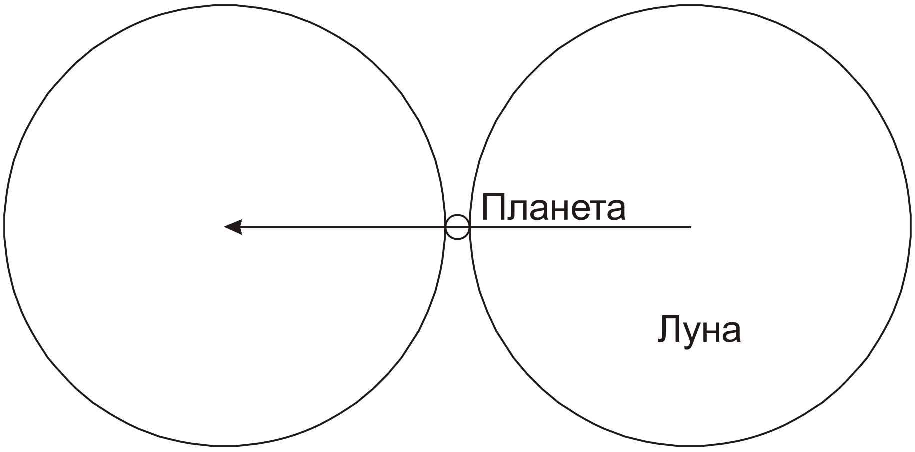
<u>3 этап – 2 балла.</u> Определение расстояния до звезды, точность 1%. Если фактор 1.01 не учтен, и расстояние оказывается на 1% меньшим – данный этап не засчитывается.

<u>4 этап – 2 балла.</u> Определение абсолютной звездной величины звезды, точность 0.1^m.

Максимальная оценка за решение задания – 8 баллов.

5. Условие. Определите максимальную продолжительность покрытия Луной планеты вместе с частными фазами при наблюдении у горизонта с полюса Земли. Для какой планеты и в какой конфигурации достигается этот максимум? Считать, что орбиты планет вокруг Солнца и Луны вокруг Земли лежат в одной плоскости. Помехи от Солнца при наблюдении не учитывать, орбиту Земли считать круговой (*О.С. Угольников*).

5. Решение. По условию задачи, наблюдения проводятся у горизонта с полюса Земли, поэтому движения наблюдателя за счет осевого вращения Земли нет, а расстояние от наблюдателя до Луны равно ее геоцентрическому расстоянию. В этом случае продолжительность покрытия определяется угловыми размерами Луны и планеты и угловыми скоростями их движения среди звезд по земному небу:



В течение центрального покрытия Луна в своем движении относительно планеты должна пройти угловой путь, равный сумме видимых диаметров Луны и планеты, D+d. Длительность покрытия с частными фазами составит:

$$T = \frac{D+d}{\Omega - \omega}.$$

Здесь Ω и ω – угловые скорости движения Луны и планеты. В соответствии со II законом Кеплера в перигее и апогее орбиты угловая скорость Луны положительна и равна

$$\Omega_{\mathrm{P,A}} = \frac{360^{\mathrm{O}}}{T_{\mathrm{L}}} \sqrt{\frac{1 \pm e_{\mathrm{L}}}{(1 \mp e_{L})^3}} \approx \frac{360^{\mathrm{O}}}{T_{\mathrm{L}}} (1 \pm e_{\mathrm{L}})^2.$$

Здесь T_{L} – период вращения Луны по орбите, e_{L} – эксцентриситет орбиты Луны. Видимый диаметр Луны D равен

$$D_{\mathrm{P,A}} = \frac{2R}{L(1 \mp e_{\mathrm{L}})},$$

где R – радиус Луны. Отсюда мы видим, что хотя в перигее видимый диаметр Луны больше, она будет быстрее проходить его по небу, и нам нужно рассматривать случай апогея Луны. Угловая скорость движения Луны в апогее равна Ω_{A} = 11.82°/сут.

Угловая скорость движения планеты по небу ω положительна при прямом движении и отрицательна при попятном (вблизи противостояния внешних планет и нижнего соединения для внутренних).

Чтобы найти максимальную длительность явления, рассмотрим, как на нее влияют факторы угловых размеров и движения планет. Угловой размер планеты увеличивает длительность явления, но даже для планет с самыми большими видимыми размерами (около 60″ для Венеры и 50″ для Юпитера) относительный эффект (*d*/*D*) составляет порядка 0.03. Обратим внимание, что такие большие размеры Венеры и Юпитера соответствуют их попятному движению, когда величина ω отрицательна и длительность покрытия уменьшается.

Эффект движения планеты может повлиять на длительность в существенно большей степени. Очевидно, нас интересует момент максимальной угловой скорости ω, который наступает в верхнем соединении планеты (помехи от Солнца мы по условию задачи не учитываем). Максимальная угловая скорость планеты достигается в ее перигелии и составляет

$$\omega = \frac{v_P + v_0}{r_P + a_0} = \omega_0 \frac{1 + \sqrt{a_0(1+e)/a(1-e)}}{1 + a(1-e)/a_0}.$$

Здесь v и v_0 – орбитальные скорости планеты и Земли, a и a_0 – радиусы их орбит, ω_0 – угловая скорость движения Земли по орбите (0.986°/сут). Максимальная угловая скорость будет у Меркурия (a/a_0 = 0.387, e = 0.206): ω = 2.28°/сут. Таким образом, этот фактор увеличивает длительность на (ω/Ω) ~ 19%, что значительно больше эффекта от видимых размеров планеты. Угловой диаметр Луны для апогея равен 0.491°. В верхнем соединении угловой диаметр Меркурия составляет 5″, что учитывать необязательно. Продолжительность покрытия составляет 1.24 часа.

Необходимо добавить, что в рамках условия задания такое покрытие произойдет в одной точке неба с Солнцем. Однако, продолжительность практически не изменится, если Луна и Меркурий чуть отступят на небе от Солнца, а фактор засветки по условию задания мы в расчет не принимаем. В реальности, Меркурий вблизи верхнего соединения имеет блеск до -2^m, есть примеры его обнаружения в телескоп в 3-5° от Солнца, так что покрытие, близкое к описанному, вполне может наблюдаться.

5. Система оценивания.

1 этап – 1 балл. Правильное выражение для длительности покрытия Луной планеты. Оно должно учитывать угловые скорости как Луны, так и планеты, а также их угловые размеры. Если в решении опускается фактор движения либо угловых размеров планеты – этап не засчитывается.

2 этап – 1 балл. Вывод о том, что основным фактором, влияющим на длительность покрытия, является угловая скорость планеты, а не ее угловой диаметр. Вывод может быть сделан в явном виде или на основе вычислений для разных планет с учетом обоих факторов.

3 этап – 2 балла. Указание планеты, покрытие которой будет наиболее длительным. Выставляется только при правильном ответе – Меркурий, во всех иных случаях этап не засчитывается.

4 этап – 2 балла. Указание правильной конфигурации планеты (верхнее соединение). Ответ «нижнее соединение» либо же просто «соединение», если речь идет о внутренней планете, правильным не является, оба балла не выставляются. Если участник считает, что планета внешняя (то есть, неправильно выполняет третий этап), то за четвертый этап ему выставляется 1 балл, если указывается конфигурация «соединение».

5 этап – 2 балла. Определение максимальной длительности покрытия, точность 0.1 часа. При ошибке до 0.2 часа за этап выставляется 1 балл.

Вероятная неточность при решении: неучет эллиптичности орбиты Луны либо же орбиты Меркурия, то есть фактически решение данной задачи в варианте, предложенном 9 классу (в ответе должно получиться 1.10 часа). В этом случае не засчитывается последний этап решения, остальные этапы оцениваются, исходя из их выполнения. Максимальная оценка в этом случае составляет 6 баллов.

Максимальная оценка за решение задания – 8 баллов.

6. Условие. Перед вами фотография (негатив), сделанная с марсохода Perseverance 2 апреля 2022 года. На фотографии запечатлено затмение Солнца спутником Марса Фобосом. Используя данную фотографию, определите:

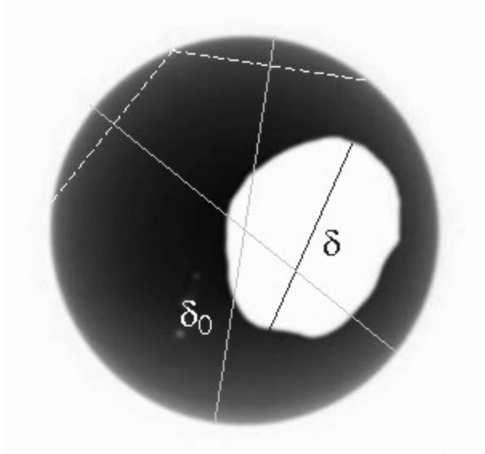
1) Высоту Солнца над горизонтом в момент фотографии (рефракцией пренебречь);
2) Местное солнечное время (по марсианской шкале, солнечные сутки на Марсе делятся на 24 часа аналогично земным).

Считайте, что марсоход находился на экваторе Марса, а орбита Фобоса лежит в плоскости экватора Марса. Орбиты Марса и Фобоса считать круговыми. Фобос имеет форму, близкую к трехосному эллипсоиду, большая ось которого направлена на Марс. Размеры Фобоса составляют 26.8×22.4×18.4 км (*В.Б. Игнатьев*).

6. Решение. Вначале определим угловой диаметр Солнца, на фоне которого марсоход наблюдает Фобос. Учтем, что Марс располагается в 1.524 раза дальше от Солнца, нежели Земля:

$$\delta_0 = \frac{206265'' \cdot 2 \cdot 695500 \text{ км}}{1.524 \cdot 1.496 \cdot 10^8 \text{ км}} = 1260'' = 21.0'.$$

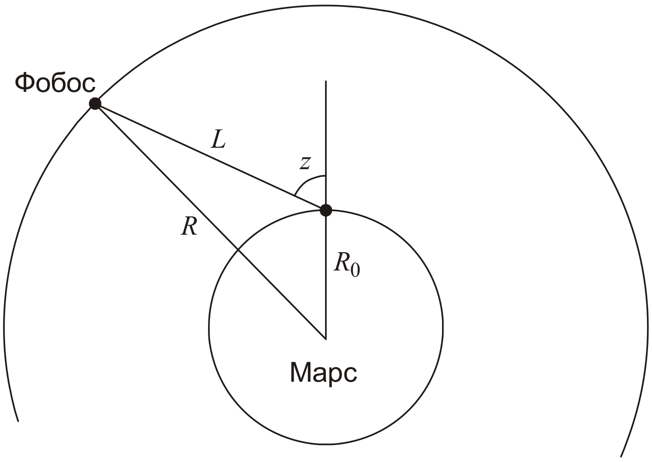
Далее определим видимый угловой размер Фобоса, сравнив его с видимым угловым размером Солнца, который нам уже известен. Сравним размеры Фобоса (большую ось) и Солнца на фотографии. Построение диаметра Солнца лучше всего сделать методом серединных перпендикуляров или найти центр способом параллельных хорд. Из рисунка мы можем получить, что большая ось Фобоса равна примерно 0.52 от диаметра Солнца, из чего мы получаем величину видимой большой оси Фобоса: $\delta = 11.0'$.



Фобос имеет форму, близкую к трёхосному эллипсоиду, большая ось которого направлена на Марс. Размеры Фобоса составляют 26.8×22.4×18.4 км. Это означает, что большая полуось данного эллипсоида направлена к центру Марса, а видимый нам контур Фобоса имеет размеры 22.4×18.4 км. Измеренная величина $\delta = 11'$ или $660''$ соответствует размеру в 22.4 км. Теперь мы можем найти расстояние от точки съемки до Фобоса:

$$L = \frac{22.4\ \text{км} \cdot 206265''}{660''} = 7000\ \text{км}.$$

Теперь мы можем определить зенитное расстояние Фобоса z в момент наблюдения, зная радиусы Марса ($R_0 = 3397$ км) и орбиты Фобоса ($R = 9380$ км). Из теоремы косинусов имеем:



$$R^2 = R_0^2 + L^2 - 2R_0 L \cos(90^\circ + z) = R_0^2 + L^2 + 2R_0 L \cos z.$$

Отсюда:

$$z = \arccos \frac{R^2 - R_0^2 - L^2}{2R_0 L} = 55^\circ.$$

Высота Солнца и Фобоса над горизонтом в момент съемки равна 35°.

Разберем последний вопрос задачи – определение местного солнечного времени. По условию задачи марсоход находится на экваторе, а плоскость орбиты Фобоса совпадает с плоскостью экватора. Следовательно, для марсохода Фобос будет на большом круге, который называется первый вертикал. Поскольку Фобос затмевает Солнце, то и Солнце находится на первом вертикале, и его склонение равно нулю (само событие происходит в момент равноденствия на Марсе). Высоты Солнца и Фобоса над горизонтом совпадают. При этом Солнце может быть как над точкой востока (первая половина дня), так и над точкой запада (вторая половина дня). Поэтому должно быть два ответа.

Будем выражать солнечное время в марсианских часах. Они не будут равны земным, поскольку длительность солнечных суток на Марсе немного больше, чем 24 земных часа. За одни солнечные сутки на Марсе Солнце делает полный оборот за 24 марсианских часа. В случае, когда Солнце находится к востоку от зенита, то Солнце не дошло до момента полудня на найденное нами ранее зенитное расстояние (55° или 3ч40м). А если Солнце находится к западу от зенита, то это зенитное расстояние уже Солнце прошло с момента полудня. Таким образом, солнечное время может быть равно 8ч20м или 15ч40м.

6. Система оценивания.

<u>1 этап – 1 балл.</u> Определение углового диаметра Солнца для марсохода, точность 1′.

Вероятная ошибка: участник забывает, что на Марсе Солнце имеет меньший угловой диаметр, нежели на Земле, и предполагает его равным 30-32′. Если последующие этапы задания выполняются верно, то видимая большая ось Фобоса окажется равной около 16.5′, расстояние до него – 4700 км, чего не может быть. В этом случае первый этап решения не засчитывается, этапы 2-3 (до вычисления расстояния) оцениваются, исходя из качества их выполнения. Последние два этапа решения в этом случае не засчитываются вне зависимости от результатов. Максимальная оценка не может превышать 5 баллов.

<u>2 этап – 4 балла.</u> Видимая большая полуось Фобоса по рисунку, точность 1′. Этап предполагает точное измерение диаметра Солнца в масштабе рисунка (2 балла, при условии корректного нахождения диаметра на основе геометрических построений, в противном случае оценка уменьшается на 1 балл), сравнение видимой оси Фобоса с диаметром Солнца (точность 0.03 диаметра Солнца) и определения видимой большой полуоси Фобоса (1 балл).

Примечание: участник олимпиады может вести вычисления на основе малой оси Фобоса, что несколько хуже в плане точности, но в целом оправданно. Возможно также усреднение на основе измерения обеих осей.

Примечание: погрешность выполнения данного этапа может существенно сказаться на последующих результатах. В этом случае последующие этапы оцениваются, если погрешность измерений не делают их абсурдными, аналогично ситуации с угловым диаметром Солнца на предыдущем этапе.

Вероятная ошибка: использование величины самой большой оси Фобоса, которая направлена на Марс. Данный этап не засчитывается, остальные оцениваются, исходя из их выполнения.

<u>3 этап – 1 балл.</u> Определение расстояния до Фобоса, точность 500 км.

<u>4 этап – 2 балла.</u> Нахождение зенитного расстояния или высоты Фобоса над горизонтом, точность 10°.

<u>5 этап – 2 балла.</u> Значения солнечного времени съемки, по 1 баллу за каждое, точность 20 минут без учета погрешностей на предыдущих этапах (на этапе 4 она может дать в итоге 40 минут).

Максимальная оценка за решение задания – 10 баллов.