

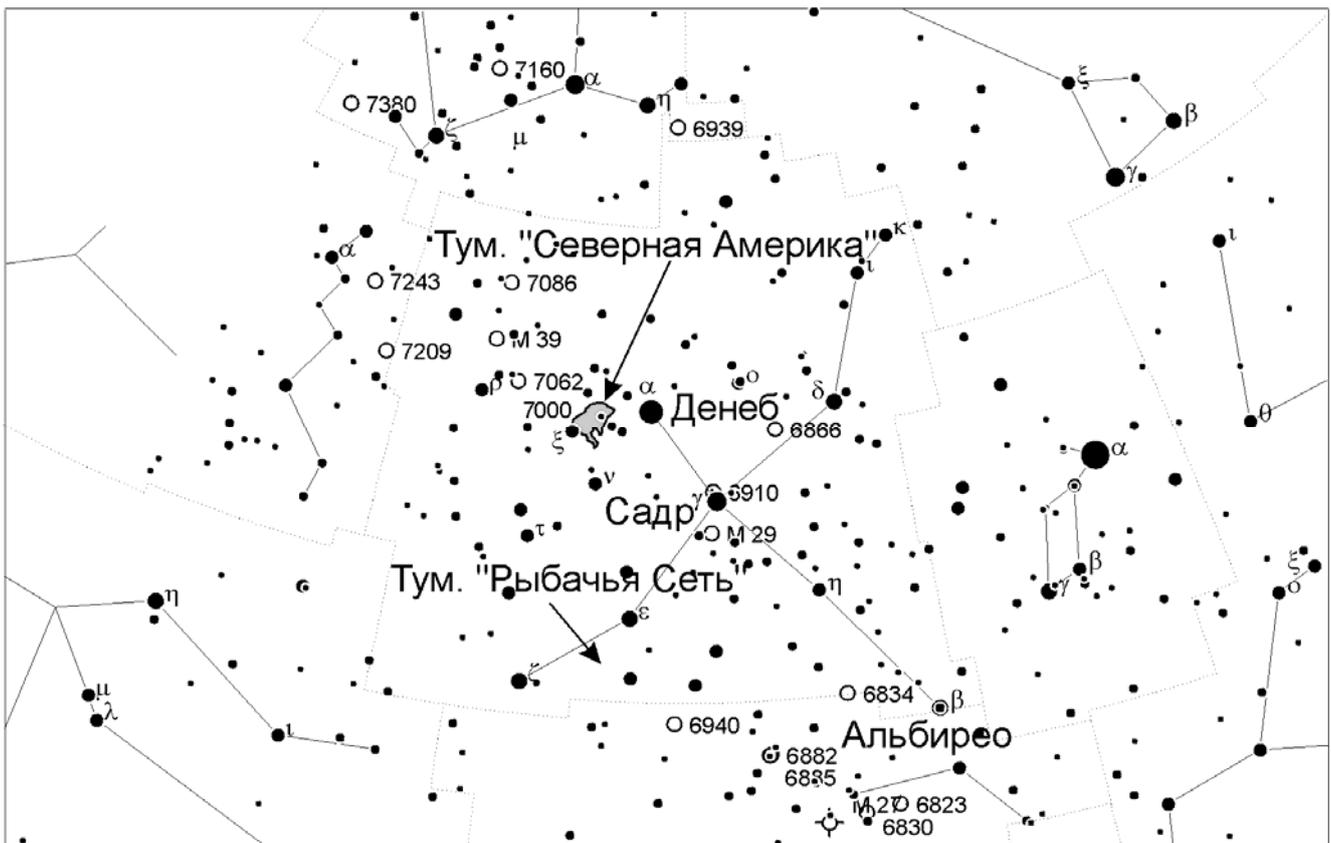
III (региональный) этап

Задания с решениями

9 класс

1. **Условие.** Нарисуйте созвездие Лебедя. Укажите известные вам объекты этого созвездия, подпишите названия известных вам звезд и объектов. Когда их удобнее наблюдать в средних широтах?

**Решение.** Карта созвездия Лебедя приведена на рисунке.



В созвездии Лебедя можно выделить яркие звезды Денеб (α Лебедя) и Садр (γ Лебедя), одну из красивейших двойных звезд Альбирео (β Лебедя), рассеянные звездные скопления M29 и M39, туманности Северная Америка и Рыбачья Сеть.

2. **Условие.** Определите ширину (в км) полосы вдоль Северного полярного круга, в которой бывает полярный день, но не бывает полярной ночи.

Границы наступления полярного дня и полярной ночи различаются из-за явления атмосферной рефракции, составляющей у горизонта 35' (обозначим эту величину как  $R$ ) и конечного видимого радиуса Солнца  $r$ , равного 16'. Оба эффекта вместе приводят к тому, что верхний край Солнца появляется над горизонтом уже тогда, когда истинная глубина его центра составляет  $R + r = 51'$ . Если обозначить широту Северного полярного круга через  $\varphi$ , то мы видим, что полярный день в момент летнего солнцестояния может наблюдаться и к югу от него, на широте

$$\varphi_1 = \varphi - (R + r),$$

а вот полярная ночь будет наблюдаться только севернее, на широте

$$\varphi_2 = \varphi + (R + r).$$

В результате, вокруг полярного круга имеется полоса шириной  $2(R + r)$  по широте, где бывает полярный день, но не бывает полярной ночи. Ширина этой полосы составляет  $1^\circ 42'$ . Если учесть, что длина  $1^\circ$  вдоль меридиана на Земле равна около 111 км, ширина данной полосы равна 189 км.

3. **Условие.** Известно, что сутки на Земле увеличиваются на 2 мс за 100 лет. Как далеко от нас отстоит та эпоха, в которой юлианский календарь был максимально точен (год юлианского календаря близок к тропическому году)? В 1900 году продолжительность тропического года была равна 31556926 секунд или 365.242199 суток.

**Решение.** Продолжительность года юлианского календаря равна 365.25 суток. В 1900 году продолжительность тропического года была на 0.007801 суток меньше. Поскольку продолжительность суток непрерывно увеличивается, то в году их становится меньше, а значит, юлианский календарь был справедлив в прошлом. Определим, как давно.

Разнице в 0.007801 суток соответствует примерно 674 секунды 1900 года (так называемая эфемеридная секунда). Это время должно «набежать» за  $674 \cdot 100 / 0.002 = 33.7$  миллионов лет. Это примерно соответствует времени появления на нашей планете первых человекообразных обезьян (середина олигоцена, палеоген, кайнозой).

4. **Условие.** Один оборот вокруг своей оси Земля делает почти за 24 часа. Оцените, с какой максимальной и минимальной скоростью может изменяться азимут звезд в средних широтах? В каких областях небесной сферы эта скорость достигается?

**Решение.** Находясь в умеренных северных широтах, мы можем наблюдать Северный полюс Мира, находящийся неподалеку от Полярной звезды. Его положение на небе (а значит, и азимут) остается неизменным во времени. Напротив, светила со склонением, равным широте места (и не равным  $90^\circ$ , так как широты умеренные) в момент своей верхней кульминации проходят через зенит, мгновенно изменяя свой азимут с  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ . Поэтому минимальная скорость изменения азимута равна нулю, максимальная – неограниченно большая.

5. **Условие.** Высадившись на экватор Луны, космонавты наблюдают восход Земли над горизонтом. На какую максимально возможную высоту может подняться Земля в этом районе Луны?

**Решение.** Казалось бы, Луна всегда повернута к Земле одной стороной, и Земля при наблюдении из фиксированной точки Луны может либо всегда находиться на небе, либо никогда не появляться над горизонтом. Однако, из-за неравномерности движения Луны по орбите и наклона орбиты Луны к плоскости эклиптики появляются либрации («покачивания») Луны по долготе и широте. Для наблюдателя на Луне это будет соответствовать изменению положения Земли на небе. При наблюдении с экватора вблизи границы видимого полушария Луны либрация по широте будет смещать Землю в горизонтальном направлении, не приводя к ее восходам и заходам и не изменяя ее высоту над горизонтом. Однако либрация по долготе будет смещать Землю в вертикальном направлении. Максимальная амплитуда либрации Луны по долготе составляет  $\pm 8^\circ$ . Если предположить, что восход Земли наблюдался вблизи ее самого низкого положения на небе в данном районе Луны, то Земля примерно через половину орбитального периода поднимется на  $16^\circ$  над горизонтом.

6. **Условие.** В момент прохождения Венерой нижнего соединения наблюдатели на Земле средствами радиолокации построили карту видимого Венеры. В следующее нижнее соединение радиоастрономы снова проводят сеанс радиолокации. На какой угол повернулась картографированная поверхность (любая отмеченная точка на поверхности Венеры) по отношению к зафиксированному в предыдущее соединение положению?

Сколько должно пройти нижних соединений, чтобы таким образом построить полную карту Венеры? Венера совершает один оборот вокруг Солнца за 224.70 суток, а вокруг оси – за 243.02 суток.

**Решение.** Синодический период Венеры равен

$$S = \frac{T \cdot T_0}{T_0 - T} = \frac{224.7 \cdot 365.26}{365.26 - 224.7} = 583.91 \text{ дней},$$

где  $T$  и  $T_0$  – периоды обращения вокруг Солнца Венеры и Земли соответственно. Величину солнечных суток на Венере можно вычислить из соотношения:

$$s = \frac{T \cdot P}{T + P} = \frac{224.70 \cdot 243.02}{224.70 + 243.02} = 116.75 \text{ дней},$$

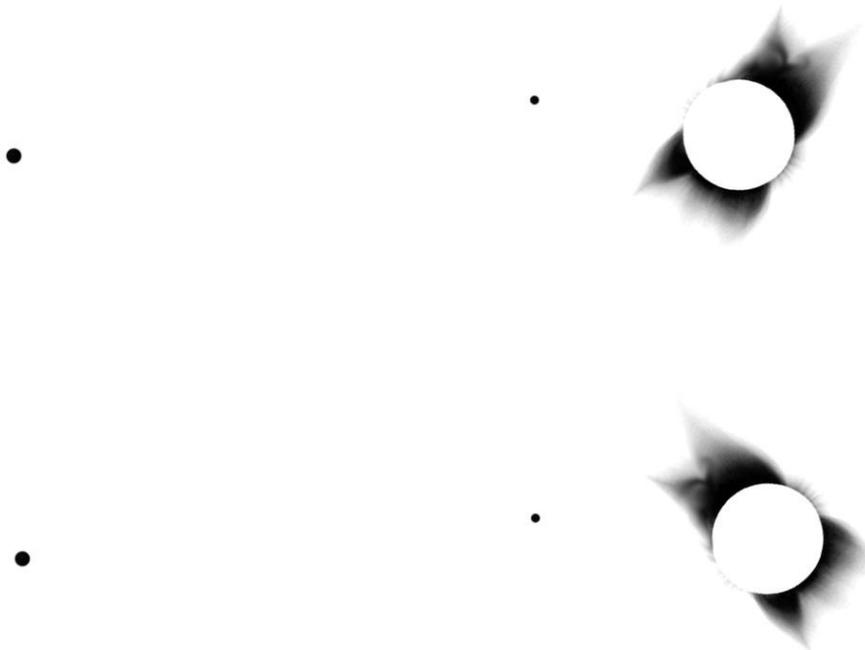
где  $P$  – период вращения Венеры вокруг оси. Отсюда получаем, что за период между двумя прохождениями нижнего соединения, то есть один синодический период на Венере проходит ровно

$$n = \frac{S}{s} = 5$$

солнечных суток, т.е. Венера каждое нижнее соединение располагается к Земле одной стороной (астрономы говорят, что осевое вращение Венеры находится в резонансе с синодическим периодом Венеры по отношению к Земле). Значит, радиолокацией только в нижнем соединении можно построить карту только одного полушария Венеры, а полную карту поверхности построить нельзя.

10 класс

1. **Условие.** На рисунках приведены фотографии одного полного солнечного затмения, полученные разными людьми. На фотографиях также видны планеты Меркурий (слабый) и Венера (яркая), вблизи эпохи их верхнего соединения. Какой из снимков не соответствует действительности? Почему вы так решили?



**Решение.** По виду короны можно сделать вывод, что Солнце находится вблизи эпохи минимума своей активности. В это время корона сильно вытянута вдоль экватора Солнца, близкого к плоскости эклиптики. Венера вблизи нижнего соединения не может отходить далее  $1.4^\circ$  от плоскости эклиптики. На фотографиях же направление вытянутости короны сильно отличается от направления на Венеру. Поэтому обе фотографии не могут соответствовать действительности.

2. **Условие.** Определите ширину (в км) полосы вдоль Северного полярного круга, в которой бывает полярный день, но не бывает полярной ночи.

Границы наступления полярного дня и полярной ночи различаются из-за явления атмосферной рефракции, составляющей у горизонта  $35'$  (обозначим эту величину как  $R$ ) и конечного видимого радиуса Солнца  $r$ , равного  $16'$ . Оба эффекта вместе приводят к тому, что верхний край Солнца появляется над горизонтом уже тогда, когда истинная глубина его центра составляет  $R + r = 51'$ . Если обозначить широту Северного полярного круга через  $\varphi$ , то мы видим, что полярный день в момент летнего солнцестояния может наблюдаться и к югу от него, на широте

$$\varphi_1 = \varphi - (R + r),$$

а вот полярная ночь будет наблюдаться только севернее, на широте

$$\varphi_2 = \varphi + (R + r).$$

В результате, вокруг полярного круга имеется полоса шириной  $2(R + r)$  по широте, где бывает полярный день, но не бывает полярной ночи. Ширина этой полосы составляет  $1^{\circ}42'$ . Если учесть, что длина  $1^{\circ}$  вдоль меридиана на Земле равна около 111 км, ширина данной полосы равна 189 км.

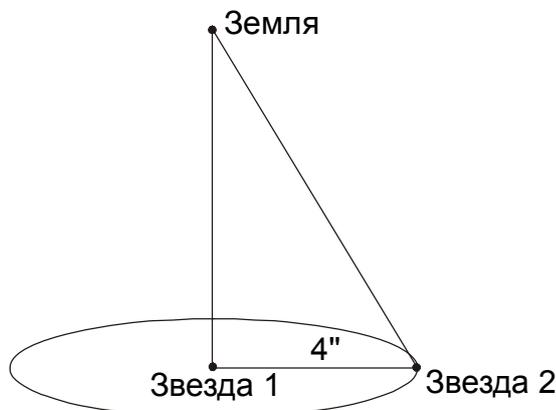
3. **Условие.** Известно, что сутки на Земле увеличиваются на 2 мс за 100 лет. Как далеко от нас отстоит та эпоха, в которой юлианский календарь был максимально точен (год юлианского календаря близок к тропическому году)? В 1900 году продолжительность тропического года была равна 31556926 секунд или 365.242199 суток.

**Решение.** Продолжительность года юлианского календаря равна 365.25 суток. В 1900 году продолжительность тропического года была на 0.007801 суток меньше. Поскольку продолжительность суток непрерывно увеличивается, то в году их становится меньше, а значит, юлианский календарь был справедлив в прошлом. Определим, как давно.

Разнице в 0.007801 суток соответствует примерно 674 секунды 1900 года (так называемая эфемеридная секунда). Это время должно «набежать» за  $674 \cdot 100 / 0.002 = 33.7$  миллионов лет. Это примерно соответствует времени появления на нашей планете первых человекообразных обезьян (середина олигоцена, палеоген, кайнозой).

4. **Условие.** Двойная звезда состоит из одинаковых компонент, каждая из которых вдвое тяжелее Солнца, движущихся по круговым орбитам вокруг общего центра тяжести. При наблюдении с Земли угловое расстояние изменяется от  $2''$  до  $4''$  с периодом в 10 лет. Найдите расстояние до двойной звезды.

**Решение.** Перейдем для простоты в систему отсчета, связанную с одной из звезд. В этом случае вторая обращается вокруг нее по круговой траектории. Так как расстояние между звездами постоянно, видимое угловое расстояние между ними может изменяться только из-за эффекта проекции, связанного с тем, что мы наблюдаем систему под углом.



Как видно из рисунка, когда угловое расстояние между звездами достигает максимума ( $4''$ ), прямая, соединяющая их, перпендикулярна направлению на Землю. Но это происходит дважды за орбитальный период звезд  $T$ , составляющий, таким образом, 20 лет. Если выразить суммарную массу звезд  $M$  в массах Солнца (она будет равна 4), то расстояние между звездами, выраженное в астрономических единицах, составляет

$$a = (T^2 M)^{1/3} = 11.7.$$

Расстояние в 11.7 а.е. видно с Земли под углом  $4''$ , следовательно, двойная звезда находится в 2.9 пк от нас.

5. **Условие.** Блеск Венеры в момент наибольшей элонгации равен  $-4.5^m$  (фаза 0.5, угловой диаметр  $24''$ ), а Сириуса  $-1.5^m$ . Сравните их поверхностную яркость для наблюдателя с телескопом диаметром 100 мм и увеличением 100 крат. Влиянием атмосферы пренебречь, разрешающую способность глаза принять равной  $1'$ .

**Решение.** Определим, какую угловую площадь будут иметь Венера и Сириус при наблюдении в данный телескоп. Диаметр дифракционного диска для диаметра телескопа  $D$  составляет

$$\delta = \frac{0.14''}{D(m)} = 1.4''.$$

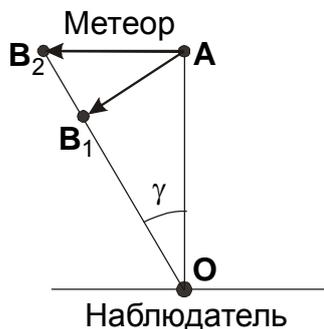
При увеличении в 100 крат этот диск будет иметь размеры в  $140''$ , что больше разрешающей способности глаза. Следовательно, дифракционная картина будет заметна в телескоп для Сириуса, и он будет наблюдаться как полный диск диаметром  $\delta$ , равным  $1.4''$  ( $140''$  с учетом увеличения). Размеры дифракционного диска существенно меньше видимых размеров Венеры, и последняя будет наблюдаться в своем истинном виде – как половинка диска с размером  $d$ , равным  $24''$  ( $2400''$  с учетом увеличения). Соотношение видимых площадей Венеры и Сириуса составит

$$\frac{S}{s} = \frac{\pi(d/2)^2/2}{\pi(\delta/2)^2} = \frac{d^2}{2\delta^2} = 147.$$

При этом Венера на 3 звездных величины или в 15.8 раз ярче Сириуса. Получается, что поверхностная яркость Венеры примерно в 9 раз меньше поверхностной яркости Сириуса.

6. **Условие.** Оцените скорость метеора, угловая длина пути которого на небе составила 30 градусов, если известно, что он загорелся в зените на высоте 100 км над поверхностью Земли и пролетел весь путь за 1 секунду.

**Решение.** Нарисуем траекторию метеора в атмосфере относительно земного наблюдателя.



Метеорное тело в период своего свечения пролетело отрезок  $AB$ . Под каким углом к вертикали происходил полет – неизвестно. Однако, отрезок  $AB$  не может быть меньше отрезка  $AB_1$ , перпендикулярного линии, направленной от наблюдателя в точку угасания метеора. Зная угол  $\gamma$ , мы получаем, что длина отрезка  $AB_1$  составляет 50 км. Так как метеор летел ровно 1 секунду, мы получаем значение его скорости: 50 км/с. Это минимально возможное значение скорости.

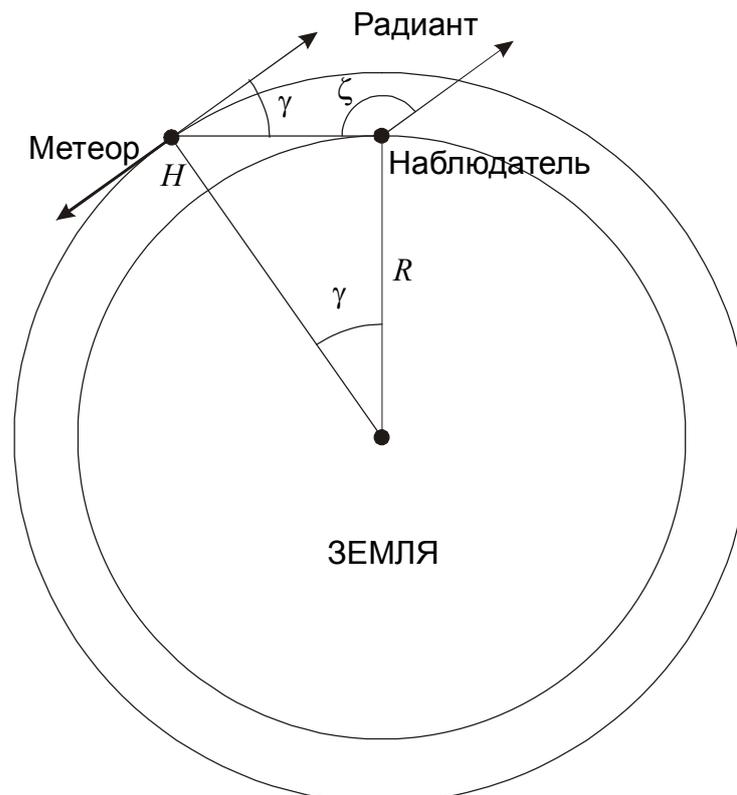
Для вычисления максимального значения скорости учтем, что метеор в момент возгорания не мог лететь снизу вверх (даже если представить себе такую траекторию метеорного тела, оно бы загорелось на меньшей высоте, до прихода в точку  $A$ ). В этом случае длина пути метеора не может быть больше отрезка  $AB_2$ , равного, как нетрудно посчитать, 57.7 км. Таким образом, максимальная скорость метеора составляет 57.7 км/с. Оба пограничных значения скорости попадают в интервал возможных значений скорости метеоров (от 11 до 72 км/с), так что ответ корректировать не нужно: скорость метеора составляет от 50 до 57.7 км/с.

1. **Условие.** Для наблюдателя на экваторе высота Солнца в момент равноденствия равна  $30^\circ$ , азимут  $+90^\circ$ . Определить среднее солнечное время в данной точке, если уравнение времени  $\eta = +7^m$ . Рефракцией и суточным параллаксом Солнца пренебречь.

**Решение.** Азимут Солнца составляет  $+90^\circ$ , следовательно, Солнце находится в западной части неба и уже прошло точку верхней кульминации. Так как наблюдения происходят на экваторе в момент равноденствия, точка верхней кульминации Солнца оказывается в зените, а его часовой угол равен зенитному расстоянию, то есть  $60^\circ$  (или 4 часам). Это означает, что истинное солнечное время составляет 16 часов. Среднее солнечное время получается прибавлением величины уравнения времени к истинному солнечному времени. Таким образом, среднее солнечное время составляет 16 часов 07 минут.

2. **Условие.** Определите максимальное угловое расстояние между радиантом метеорного потока и началом пути метеора, принадлежащего этому потоку и наблюдающегося с поверхности Земли. Считать, что метеоры загораются в атмосфере на высоте 100 км.

**Решение.** Очевидно, что метеор не может наблюдаться в  $180^\circ$  от радианта, в точке, противоположной ему на небе, так как для этого он должен был вначале пролететь через точку наблюдения, находящуюся на поверхности Земли. Так как метеор загорается на высоте 100 км, он должен оказаться на этой высоте, двигаясь из более высоких слоев атмосферы или, по крайней мере, по касательной к данному слою. Рассмотрим этот предельный случай.



Наиболее удаленной точкой от места возгорания метеора, откуда оно еще будет видно, будет точка, в которой метеор будет виден на горизонте. Как видно на рисунке, именно в этой точке поверхности Земли угловое расстояние между радиантом и метеором будет наибольшим. Его можно вычислить как

$$\zeta = 180^\circ - \gamma = 180^\circ - \arccos \frac{R}{R+H} = 170^\circ.$$

Здесь  $R$  – радиус Земли,  $H$  – высота возгорания метеора.

3. **Условие.** На далекой обитаемой планете тепловые условия аналогичны земным, но местное Солнце имеет вдвое меньший угловой диаметр. Найдите температуру этой далекой звезды.

**Решение.** Пусть  $T_0$  – температура Солнца,  $R_0$  – его радиус,  $D_0$  – расстояние от Солнца до Земли, а  $T$ ,  $R$  и  $D$  – аналогичные характеристики далекой звезды и ее планеты. Учитывая, что энерговыделение звезды пропорционально четвертой степени ее температуры и квадрату радиуса (по закону Стефана-Больцмана), мы можем записать условие равенства температур на Земле и далекой планете как

$$\frac{T^4 R^2}{D^2} = \frac{T_0^4 R_0^2}{D_0^2}.$$

При этом, звезда при наблюдении с планеты имеет вдвое меньший угловой диаметр, чем Солнце при наблюдении с Земли:

$$\frac{R}{D} = \frac{R_0}{2D_0}.$$

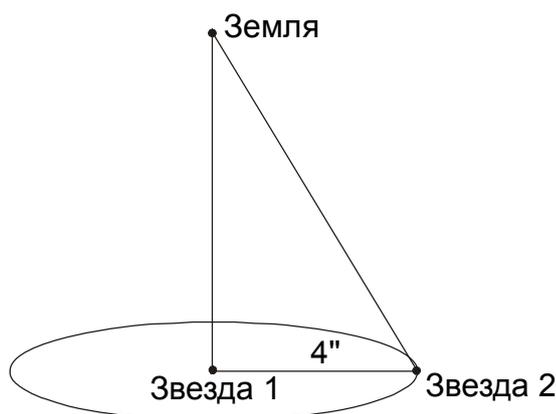
Подставляя второе уравнение в первое, получаем:

$$T = T_0 \sqrt{2}$$

или около 8500 К.

4. **Условие.** Двойная звезда состоит из одинаковых компонент, каждая из которых вдвое тяжелее Солнца, движущихся по круговым орбитам вокруг общего центра тяжести. При наблюдении с Земли угловое расстояние изменяется от  $2''$  до  $4''$  с периодом в 10 лет. Найдите расстояние до двойной звезды.

**Решение.** Перейдем для простоты в систему отсчета, связанную с одной из звезд. В этом случае вторая обращается вокруг нее по круговой траектории. Так как расстояние между звездами постоянно, видимое угловое расстояние между ними может изменяться только из-за эффекта проекции, связанного с тем, что мы наблюдаем систему под углом.



Как видно из рисунка, когда угловое расстояние между звездами достигает максимума ( $4''$ ), прямая, соединяющая их, перпендикулярна направлению на Землю. Но это происходит дважды за орбитальный период звезд  $T$ , составляющий, таким образом, 20 лет. Если выразить суммарную массу звезд  $M$  в массах Солнца (она будет равна 4), то расстояние между звездами, выраженное в астрономических единицах, составляет

$$a = (T^2 M)^{1/3} = 11.7.$$

Расстояние в 11.7 а.е. видно с Земли под углом  $4''$ , следовательно, двойная звезда находится в 2.9 пк от нас.

5. **Условие.** Блеск Венеры в момент наибольшей элонгации равен  $-4.5^m$  (фаза 0.5, угловой диаметр  $24''$ ), а Сириуса  $-1.5^m$ . Сравните их поверхностную яркость для наблюдателя с телескопом диаметром 100 мм и увеличением 100 крат. Влиянием атмосферы пренебречь, разрешающую способность глаза принять равной  $1'$ .

**Решение.** Определим, какую угловую площадь будут иметь Венера и Сириус при наблюдении в данный телескоп. Диаметр дифракционного диска для диаметра телескопа  $D$  составляет

$$\delta = \frac{0.14''}{D (m)} = 1.4''.$$

При увеличении в 100 крат этот диск будет иметь размеры в  $140''$ , что больше разрешающей способности глаза. Следовательно, дифракционная картина будет заметна в телескоп для Сириуса, и он будет наблюдаться как полный диск диаметром  $\delta$ , равным  $1.4''$  ( $140''$  с учетом увеличения). Размеры дифракционного диска существенно меньше видимых размеров Венеры, и последняя будет наблюдаться в своем истинном виде – как половинка диска с размером  $d$ , равным  $24''$  ( $2400''$  с учетом увеличения). Соотношение видимых площадей Венеры и Сириуса составит

$$\frac{S}{s} = \frac{\pi(d/2)^2/2}{\pi(\delta/2)^2} = \frac{d^2}{2\delta^2} = 147.$$

При этом Венера на 3 звездных величины или в 15.8 раз ярче Сириуса. Получается, что поверхностная яркость Венеры примерно в 9 раз меньше поверхностной яркости Сириуса.

6. **Условие.**

*«А звезды, тем не менее,  
а звезды, тем не менее,  
чуть ближе, но все так же холодны...»*

(группа «Земляне», «Трава у дома»).

А как на самом деле изменятся визуальные характеристики звезд при наблюдении из ближайшего космического пространства, если расстояние и температуру оценивать по их видимому блеску и показателю цвета?

**Решение.** При вылете за пределы земной атмосферы мы освобождаемся от поглощения света звезд в ней. Поэтому та же самая звезда при наблюдении из космоса покажется нам несколько ярче, то есть как будто бы действительно ближе. Но будет ли она «столь же холодна»? Как известно, поглощающая способность атмосферы усиливается в коротковолновой области спектра. Поэтому при наблюдении из космоса звезда усилит свой блеск в синих лучах больше, нежели в красных. Ее показатель цвета уменьшится, и звезда «поголубеет», что, с точки зрения нашего цветового восприятия, будет указывать на увеличение ее температуры.