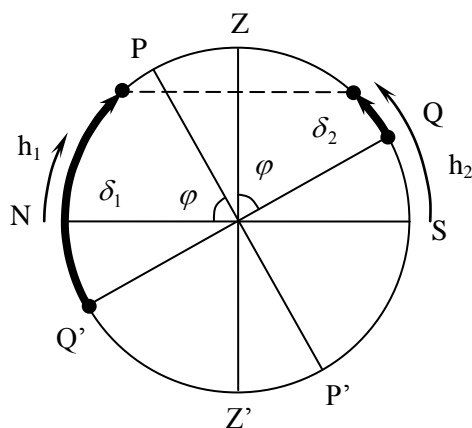


**РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ И УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЖЮРИ**  
**2-ого (районного) этапа республиканской олимпиады**  
**по учебному предмету «Астрономия»**  
**2020 год**

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ**

**Задача 1.**

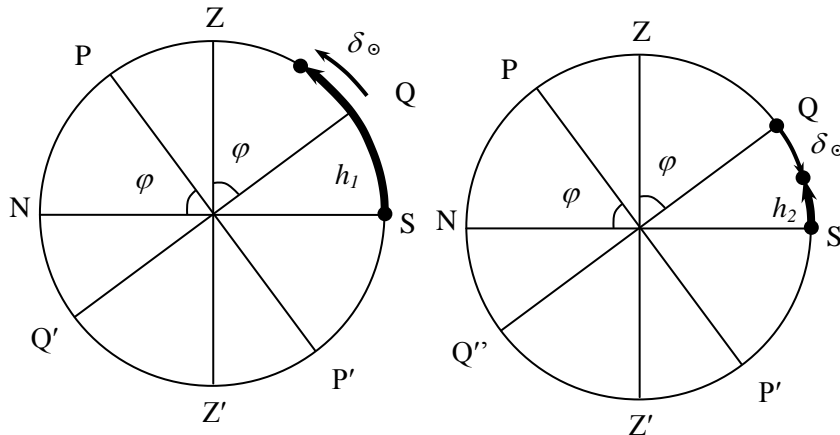


*Решение*

Изобразим сечение небесной сферы в плоскости небесного меридиана. Обозначаем их склонения  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , высоты над горизонтом  $h_1$  и  $h_2$  географическую широту  $\varphi$ . Так как они находятся на одном альмукантате, то  $h_1 = h_2$ .  $h_1 = \delta_1 - (90^\circ - \varphi) = \delta_1 + \varphi - 90^\circ$ ;  $h_2 = \delta_2 + (90^\circ - \varphi) = \delta_2 - \varphi + 90^\circ$ ;  $\delta_1 + \varphi - 90^\circ = \delta_2 - \varphi + 90^\circ$ ; откуда  $\varphi = 90^\circ + \frac{\delta_2 - \delta_1}{2} = 75^\circ$ . В момент верхней кульминации светила звездное время  $s = \alpha$ . В верхней кульминации находилось второе светило, значит  $s = 6^h$ . Наблюдения проводились зимой, поздней осенью или ранней весной. Летом проводить их невозможно, так как на столь высоких широтах бывают белые ночи и звезд не видно.

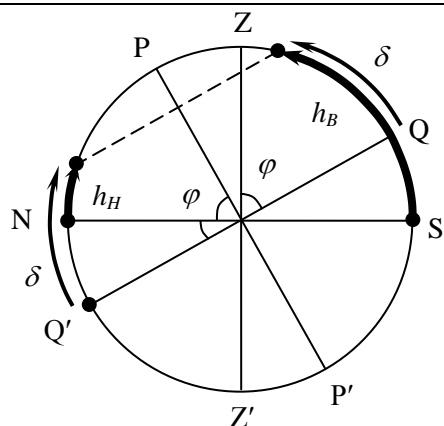
**Задача 2.**

*Решение*



Изобразим сечения небесной сферы в плоскости небесного меридиана: на рисунке слева представлена ситуация соответствующая 22 июля, а на рисунке справа – 22 декабря. Эти даты соответствуют летнему и зимнему солнцестоянию, т.е.  $\delta_\odot$  принимает максимальное значение и оно равно наклонению эклиптики к небесному экватору,  $\varepsilon = \delta_\odot$ . Тогда из левого рисунка следует  $h_1 - \delta_\odot = 90^\circ - \varphi$ ; а из правого  $h_2 + \delta_\odot = 90^\circ - \varphi$ . Решая совместно эти уравнения, получим  $\varepsilon = \delta_\odot = 23^\circ 30'$ ,  $\varphi = 56^\circ 30'$ .

### Задача 3.



### Решение

Изобразим сечение небесной сферы в плоскости небесного меридиана и обозначим высоты звезды в верхней ( $h_B$ ) и нижней ( $h_H$ ) кульминациях, а также широту места наблюдения  $\varphi$  и ее склонение  $\delta$ . Из рисунка видно, что  $\delta + (90^\circ - h_H) + \varphi = 180^\circ$ , а также  $90^\circ - h_B + \delta = \varphi$ . Решая совместно эти уравнения получим  $\delta = 50^\circ$ ,  $\varphi = 70^\circ$ .

### Задача 4.

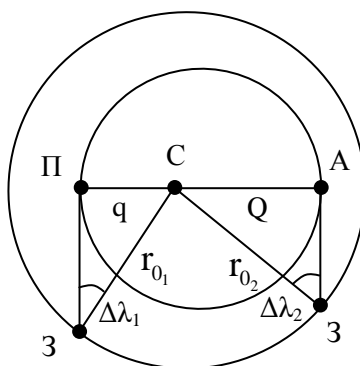
### Решение

Синодический период в 1,25 года могут иметь как внутренние, так и внешние по отношению к Земле тела. Если считать, что это внутреннее тело, то  $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}$ , откуда  $T = 0,55$  года. Оно может обращаться между орбитами Меркурия и Венеры.

Если предположить, что это внешнее тело, то  $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}$ , откуда  $T = 5$  лет. В этом случае оно может обращаться между орбитами Марса и Юпитера.

### Задача 5.

### Решение



Выполняем рисунок, на котором обозначаем положение Меркурия, Солнца и Земли в перигелии (максимальная элонгация принимает значение  $18^\circ$ ) и Меркурия, Солнца и Земли в афелии (максимальная элонгация принимает значение  $28^\circ$ ). Тогда  $q = r_{01} \cdot \sin \Delta \lambda_1$  и  $Q = r_{02} \cdot \sin \Delta \lambda_2$ .

В первом приближении можно считать  $r_{01} = r_{02} = a_0 = 1$  а.е.

$$\frac{q}{Q} = \frac{a_0 \sin \Delta \lambda_1}{a_0 \sin \Delta \lambda_2} = \frac{a_0(1-e)}{a_0(1+e)}, \text{ откуда } \frac{\sin \Delta \lambda_2 - \sin \Delta \lambda_1}{\sin \Delta \lambda_2 + \sin \Delta \lambda_1} = 0,2.$$

### Задача 6.

Сравнивая движение астероида вокруг Солнца с движением Земли вокруг Солнца и используя упрощенную запись третьего закона Кеплера, определим большую полуось.

$$\frac{T^2}{T_3^2} = \frac{a^3}{a_3^3}, \text{ откуда } a = a_3 \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_3^2}},$$

$a_3 = 1$  а.е.,  $T_3 = 1$  год,  $T = 8,25$  лет. Проводим вычисления и получаем  $a = \dots$

Эксцентриситет найдем из определения перигелийного расстояния:  $q = a(1-e)$ , откуда  $e = 1 - q/a = \dots$ .

Афелийное расстояние  $Q = a(1+e) = \dots$  а.е.

Рассматриваемый астероид является верхним небесным телом по отношению к Земле. Для него синодическое уравнение имеет вид

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T}, \text{ откуда } S = \frac{T}{T_H - 1} = \dots \text{ года.}$$

Зная сидерический период обращения астероида и длину пути за один полный оборот, средняя скорость  $v_c = 2\pi r / T = \dots$  км/с.

Скорость в перигелии  $v_q = v_c \sqrt{(1+e)/(1-e)} = \dots$  км/с.

Скорость в афелии  $v_Q = v_c \sqrt{(1-e)/(1+e)} = \dots$  км/с.

### Задача 7.

Пусть точка О - центр Земли, К - космонавт и Г - горизонт. Обозначим длины отрезков: ОГ через R и КГ через D. Тогда длина отрезка КО будет равна R + h, где h = 400 км - высота орбиты. Расстояние до горизонта определим из прямоугольного треугольника ГОК по теореме Пифагора:  $(R + h)^2 = D^2 + R^2$ , откуда  $D^2 = 2 R h + h^2 = 2 R h (1 + h/2R)$ . Поскольку  $h \ll R$ , второе слагаемое в этой формуле много меньше первого, поэтому им можно пренебречь. В результате получаем формулу для расстояния до горизонта при высоте наблюдателя  $h \ll R$ :  $D = \sqrt{2Rh}$ . Поскольку  $D \ll R$ , площадь поверхности Земли, доступную взгляду космонавта можно вычислить как площадь круга:  $s = \pi D^2$ , поскольку полная площадь поверхности Земли вычисляется как площадь шара:  $S = 4 \pi R^2$ . Отношение этих площадей составляет  $s/S = h/2R = 0,03$  (т.е. 3%).

### Задача 8.

Светимость звезды определим из закона Стефана-Больцмана:  $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$

Светимость Солнца определим аналогично:  $L_\odot = 4\pi R_\odot^2 \sigma T_\odot^4$

Из закона Погсона:  $\frac{L}{L_\odot} = 2,512^{M_\odot - M}$

Тогда  $\frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{4\pi R_\odot^2 \sigma T_\odot^4} = 2,512^{M_\odot - M}$

Отсюда  $T = T_\odot \sqrt[4]{\frac{R_\odot}{R} 2,512^{\frac{M_\odot - M}{4}}}$

$R$  и  $R_\odot$  - радиус звезд и Солнца соответственно  $T$  и  $T_\odot$  - эффективные температуры звезды и Солнца соответственно.

$T_\odot$  - Солнца - 5780K или находим через солнечную постоянную  $Q = 1360 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$

$$4\pi R_\odot^2 \sigma T_\odot^4 = 4\pi a^2 Q$$

Где  $a$  - большая полуось орбиты Земли;

$\sigma$  - постоянная в законе Стефана-Больцмана

Тогда

$$T = \sqrt[4]{\frac{a^2 Q}{R_\odot^2 T_\odot^4}} = 5780K$$

Абсолютная звездная величина Солнца

$$M_{\odot} = m_{\odot} + 5 + 5 \lg(\text{пк}) = -26,8 + 5 + 5 \lg 206265 = 4,8$$

Учитываем, что расстояние до Солнца равно 1 астрономическая единица =  $\frac{1}{206265}$  – парсек.

Тогда температура звезды

$$T = 5780 \sqrt{\frac{R_{\odot}}{16R_{\odot}}} 2,512^{\frac{4,8 - (-3,2)}{4}} = 9120 \text{ К}.$$

**Решения задач должны обязательно сопровождаться рисунками и пояснениями.**

**Рекомендуемое время выполнения части – 120 минут.**

**Всего за теоретическую часть – 50 баллов.**

**Задачи 3, 4, 5, 7 оцениваются при полном решении по 5 баллов за каждую.**

**Задачи 1, 2 оцениваются при полном решении по 6 баллов за каждую.**

**Задачи 6 и 8 оцениваются при полном решении по 9 баллов за каждую.**

**Если ответ не полный – жюри принимает решение о снижении оценки. Другие варианты решений, если они физически обоснованы и дают верные ответы - жюри принимаются и оцениваются.**

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

### Задачи 1, 2, 3

В соответствии с инструкцией к подвижной карте звездного неба.

### Задача 4.

В соответствии с инструкцией к подвижной карте звездного неба. Так, как Солнце движется по эклиптике, которая проходит по Зодиакальным созвездиям, то по границам этих созвездий определяем время пребывания Солнца в каждом созвездии.

Высота Солнца над горизонтом определяется как  $h = 90 - \varphi + \delta$ , где  $\varphi$  – географическая широта  $54^\circ$ , а  $\delta$  – склонение Солнца которое определяем по подвижной карте звездного неба на 21 число каждого месяца (склонение точек эклиптики на 21 число каждого месяца).

### Задача 5.

Чтобы правильно рассчитывать основные характеристики телескопов необходимо знать следующее.

Самыми важными характеристиками объектива телескопа (главного зеркала) являются его диаметр  $D$  и фокусное расстояние  $F$ . Диаметр объектива (зеркала) определяет размеры собирающей поверхности. Чем больше собирающая поверхность телескопа, тем более слабый объект можно наблюдать. Эти характеристики объектива определяют основные характеристики самого телескопа: **увеличение, светосилу, разрешающую способность, проникающую силу, поле зрения.**

Увеличение  $n$  определяется отношением фокусного расстояния объектива  $F$  к фокусному расстоянию окуляра  $f$ .  $n = F/f$ . Увеличение телескопа можно определить также как отношение диаметра объектива  $D$  к диаметру выходного зрачка  $d$ .  $n = D/d$ . Выходной зрачок телескопа – это изображение входного зрачка системы (апертуры объектива). Казалось бы, очень больших увеличений можно достичь уменьшением фокусного расстояния окуляра. Однако существуют дифракционный предел увеличения, который может быть получен при данном диаметре объектива. Кроме этого существуют атмосферные ограничения на увеличение. Наибольшее увеличение, которое может быть достигнуто при хороших атмосферных условиях,  $n_{\max} = 2D$  где  $D$  – выражен в миллиметрах.

Светосила – отношение диаметра объектива (зеркала) к его фокусному расстоянию  $A = D/F$ .

Светосила характеризует яркость изображения объектива. У рефракторов она обычно 1:10 – 1:15, а у рефлекторов 1:5 – 1:10. Имеются, конечно, светосильные и сверхсветосильные объективы, у которых светосила достигает 1:1.

Разрешающая способность телескопа – это минимальный угол  $\alpha$  между двумя звездами или деталями объекта, при котором они видны раздельно. Из теории дифракции света следует простая формула для определения  $\alpha$ :  $\alpha = 1,22 \lambda/D$ , где  $\lambda$  – длина волны излучения.  $\lambda$  и  $D$  – выражены в одних и тех же единицах.  $\alpha$  – выражена в радианах. При визуальных наблюдениях действующей длиной волны является  $\lambda = 550$  нм и разрешающая способность телескопа, выраженная в угловых секундах, равна:  $\alpha'' = 138/D$ ,  $D$  – выражен в миллиметрах. На разрешающую способность влияет астроклимат, атмосферные дрожания, беспокойства атмосферы, которые “замывают” детали изображения, делают его нечетким, т.е. ухудшают разрешающую способность. Разрешающая способность невооруженного человеческого глаза составляет 50–60 угловых секунд.

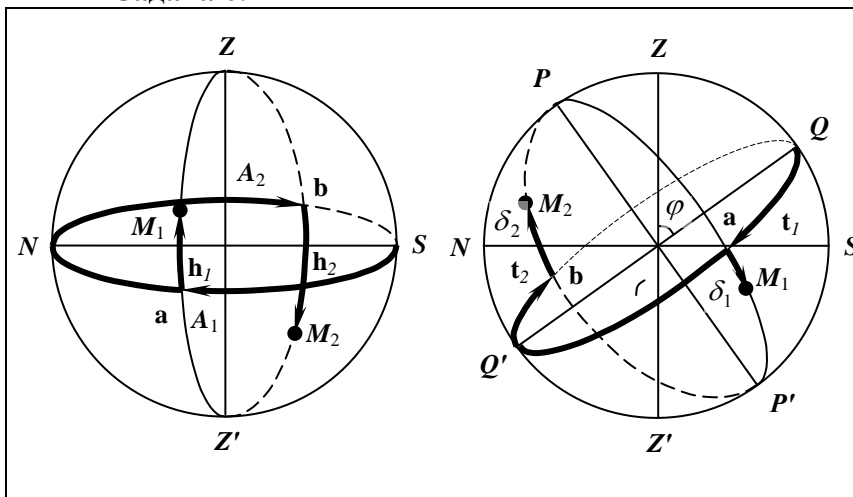
Проникающая сила телескопа (оптическая мощь) – это предельная звездная величина звезд, видимых в данный телескоп в ясную безлунную ночь при идеальных атмосферных условиях:

$m = 2,1 + 5 \lg D$ , где  $D$  – выражен в миллиметрах. Полученная по этой формуле звездная величина относится к идеальным условиям, а также не учитывает увеличение телескопа. Более точной и приближенной к реальным условиям является формула Боуэна:  $m = 5,5 + 2,5 \lg D + 2,5 \lg n$ , где  $n$  – увеличение.

Поле зрения – это угловые размеры видимого в телескоп участка неба. Поле зрения выраженное в угловых минутах определяется по формуле:  $P' = 2000/n$ , где  $n$  – увеличение телескопа. Практически поле зрения определяется из времени прохождения светила по центральной линии поля зрения:

$P' = (t/4) \cos \delta$ , где  $t$  – время прохождения светила по диаметру поля зрения, выраженное в секундах,  $\delta$  – склонение наблюдаемого светила.

### Задача 6.



Для того что бы решить задачу 5 приводим ниже пример. Далее по аналогии.

Изображаем небесную сферу с отвесной линией и математическим горизонтом. От точки юга  $S$  откладываем  $A_1$ . Так как дуга  $SN=180^\circ$  (или  $12^h$ ), то  $A_1$  возьмем  $2/3$  от  $\cup SN$ . Через точку  $a$  проводим круг высоты  $ZaZ'$  и откладываем  $h_1$ . Так как  $h_1$  положительное, то откладываем его вдоль круга высоты в сторону зенита.

Дуга  $aZ=90^\circ$ ,  $h_1=30^\circ$ , значит,  $h_1=1/3 \cup aZ$ . Второе светило изображаем аналогично первому.  $A_2$  откладываем вдоль истинного горизонта. Дуга  $SNb=21^h$  ( $SNS=24^h$ ). Через точку  $b$  проводим круг высоты, на котором откладываем высоту светила  $h_2=-45^\circ$ , т.е. она равна половине дуги  $bZ'$ .

Изображаем небесную сферу с отвесной линией, математическим горизонтом осью мира, небесным экватором. Ось мира располагается согласно теореме о высоте полюса мира над горизонтом  $\varphi=h_p$ . От точки  $Q$  вдоль небесного экватора откладываем  $t_1$ . Через точку  $a$  проводим круг склонения  $PaP'$ , вдоль которого откладываем  $\delta_1$ .  $\delta_1$  - отрицательное, поэтому откладываем его в сторону южного полюса мира. Длину дуги  $\delta_1$  берем равной одной трети от дуги  $aP'$ , которая равна  $90^\circ$ . Второе светило изображаем аналогично первому.  $t_2=14^h$  или  $210^\circ$ , т.е.  $\cup QQ'b=210^\circ$ . Через точку  $b$  проводим круг склонения  $PbP'$ .  $\delta_2$  - положительное, т.е. его мы откладываем от точки  $b$  в сторону северного полюса мира.  $\delta_2=50^\circ$ , т.е. несколько больше половины дуги  $bP$ , которая равна  $90^\circ$ .

### Задача 7.

На рисунке изображен серп Луны на фоне звезд. На ночной стороне Луны (не освещенной Солнцем) изображена звезда. Этого не может быть, т.к. звезды расположены очень далеко (за орбитой Луны), и Луна не прозрачна для света идущего от звезд.

### Задача 8.

Второе положение соответствует 23 часам. Хорошо, если учащиеся в решении укажут, что в течение суток созвездие делает полный оборот вокруг  $\alpha$  М.Медведицы, за 24 часа, а на рисунках созвездие развернуто на  $90$  градусов.

**Решения задач должны обязательно сопровождаться рисунками и пояснениями.**

**Рекомендуемое время выполнения части – 120 минут.**

**Всего за практическую часть– 50 баллов.**

**Задачи 1, 3, 7, 8 оцениваются при полном решении по 3 баллов за каждую.**

**Задача 2 оценивается при полном решении в 10 баллов (указано 10 ярких звезд, принадлежность их к созвездиям и собственные названия).**

**Задача 4 оценивается при полном решении в 12 баллов.**

**Задачи 5, 6 оцениваются при полном решении по 8 баллов за каждую.**

**Если ответ не полный – жюри принимает решение о снижении оценки. Другие варианты решений, если они физически обоснованы и дают верные ответы - жюри принимаются и оцениваются.**