Решения заданий муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии 2024 - 2025 учебный год

11 класс

1. *Двойная звезда*

Астрономы изучают некоторую физическую двойную звезду, оба компонента которой принадлежат главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга-Рассела. Исследователям удалось установить, что суммарная масса этой системы составляет 3,6 масс Солнца. Также из наблюдений было установлено, что оба компонента системы обладают одинаковым болометрическим блеском (т.е. блеском в широком диапазоне длин волн (частот)) и сходными спектрами. Что можно сказать о массе каждого из компонентов системы в отдельности? Свой ответ обоснуйте.

Решение

Т.к. обе звезды образуют физическую пару, то можно считать, что они расположены от нас на одинаковом расстоянии. Тогда из равенства болометрического блеска компонентов пары можно сделать вывод об одинаковой светимости этих звезд. Кроме того, учитывая, что оба компонента обладают схожими спектрами, можно заключить, что они имеют одинаковый спектральный класс. Из вышеприведенных фактов можно сделать вывод, что обе звезды занимают одинаковое положение на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рассела, а значит, идентичны друг другу и по своей массе. Тогда масса каждого из компонентов такой системы в отдельности составит 1,8 масс Солнца.

2. *Два лунных фильтра*

У любителя астрономии имеются два лунных фильтра к телескопу, один из которых имеет коэффициент светопропускания 30%, а второй 70%. Из этих фильтров любитель астрономии решил сделать один более плотный фильтр, соединив оба имеющихся фильтра в единый. Каким светопропусканием будет обладать такой составной фильтр?

Решение

Обозначим через $\mathbf{k_1}$ – коэффициент светопропускания первого фильтра, а через $\mathbf{k_2}$ – коэффициент светопропускания второго. Пусть на первый фильтр падает световой поток $\mathbf{\Phi_0}$, а выходит из него поток $\mathbf{\Phi_1}$. После этот вышедший из первого фильтра световой поток падает на второй фильтр, после которого выходит поток $\mathbf{\Phi_2}$. В этом случае можно записать выражения, связывающие собой световые потоки и коэффициенты пропускания:

$$\mathbf{k_1 = \frac{\Phi_1}{\Phi_0}}$$

$$\mathbf{k_2 = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}}$$

Искомый коэффициент светопропускания $\mathbf{k}$ составного фильтра, очевидно, будет определяться отношением конечного потока, вышедшего после обоих фильтров к первоначальному потоку, падающему на первый фильтр:

$$\mathbf{k = \frac{\Phi_2}{\Phi_0}}$$

Выразив величины световых потоков $\mathbf{\Phi_0}$ и $\mathbf{\Phi_2}$ из первых двух равенств и подставив их в последнее выражение, получим:

$$\mathbf{k = k_1 \cdot k_2}$$

Таким образом, искомый коэффициент светопропускания рассматриваемой склейки из двух фильтров будет равен:

$$\mathbf{k = 0{,}3 \cdot 0{,}7 = 0{,}21 = 21\%}$$

3. ***Заходы звезд***

Звезда Вега (α Lyr) имеет экваториальные координаты $\boldsymbol{\alpha}=18^h38^m$, $\boldsymbol{\delta}=+38°48'$, а звезда Матар (η Peg) $\boldsymbol{\alpha}=22^h44^m$, $\boldsymbol{\delta}=+30°21'$. Попробуйте высказать обоснованное предположение о том, какая из этих звезд будет раньше заходить в Костроме ($\boldsymbol{\varphi}=57°46'$ с.ш., $\boldsymbol{\lambda}=40°56'$ в.д.). Атмосферную рефракцию не учитывать.

Решение

Обе звезды имеют положительное склонение, поэтому являются наблюдаемыми в Северном полушарии Земли, в т.ч. и в Костроме. Далее можно заметить, что склонения обеих звезд различаются всего на 8 градусов, а вот прямое восхождение Веги заметно меньше прямого восхождения Матара. Таким образом, верхняя кульминация Веги произойдет гораздо раньше, после чего ее высота начнет плавно убывать. Казалось бы, это дает возможность предположить, что Вега и зайдет раньше Матара, но здесь надо не забыть сделать проверку того, являются ли вообще рассматриваемые звезды заходящими на нашей широте. Это можно сделать, вычислив высоту нижней кульминации каждой из звезд, что можно сделать по следующей формуле:

$$\mathbf{h_{í} = -90° + \varphi + \delta}$$

Тогда для Веги высота нижней кульминации составит:

$$\mathbf{h_{í} = -90° + 57°46' + 38°48' = 06°34' > 0}$$

Для Матара высота в нижней кульминации будет равна:

$$h_{\text{í}} = -90° + 57°46' + 30°21' = -01°53' < 0$$

Таким образом, Матар заходит в Костроме, а Вега является у нас незаходящей звездой, и никакого вывода о том, какая из этих звезд зайдет раньше сделать нельзя.

4. *Земля вращается в обратную сторону*

Период осевого вращения Земли относительно далеких звезд (т.н. сидерический период вращения) составляет $23^h56^m04^s$, а период обращения нашей планеты вокруг Солнца относительно звезд (сидерический год) равен 365,25636 средних солнечных суток. Чему был бы равен период солнечных суток на Земле, если бы наша планета вращалась вокруг своей оси с тем же периодом, но в обратную сторону? Орбиту Земли считать круговой.

Решение

Пусть **S** – искомый период солнечных суток, **P** – сидерический период осевого вращения Земли, а **T** – сидерический год.

При обратном вращении Земли вокруг своей оси видимая угловая скорость суточного движения Солнца на небе определяется суммой угловых скоростей осевого вращения и орбитального обращения Земли. Тогда для нахождения искомого периода солнечных суток можно воспользоваться уравнением синодического движения, которое в данном случае будет иметь вид:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} + \frac{1}{P}$$

Выразив из данного уравнения величину **S** и подставив в полученное выражение имеющиеся в условии задачи данные, получим:

$$S = \frac{T \cdot P}{T + P} = \frac{365{,}25636 \cdot \dfrac{23^h56^m04^s}{24^h}}{365{,}25636 + \dfrac{23^h56^m04^s}{24^h}} = 23^h52^m09^s$$

5. *Масса галактики*

Абсолютная звездная величина гигантской эллиптической галактики M87, расположенной в созвездии Девы, равна $\mathbf{M}=-22^m$. Считая, что она составлена в основном звездами, подобными Солнцу, оцените ее массу. Абсолютная звездная величина Солнца составляет $\mathbf{M_S}=4{,}8^m$.

Решение

Для оценки массы галактики M87 нам необходимо будет сравнить светимость этой звездной системы со светимостью Солнца. Отношение этих светимостей и даст оценку количества звезд **N** в этой галактике и, соответственно, массы этой галактики. Для сравнения этих светимостей можно воспользоваться модификацией формулы Погсона, связывающей светимость галактики **L** и светимость Солнца $\mathbf{L_S}$ с абсолютными звездными величинами этих объектов:

$$N = \frac{L}{L_S} = 2{,}512^{(M_S - M)} = 2{,}512^{4{,}8-(-22)} = 2{,}512^{26{,}8} \sim 5 \cdot 10^{10}$$

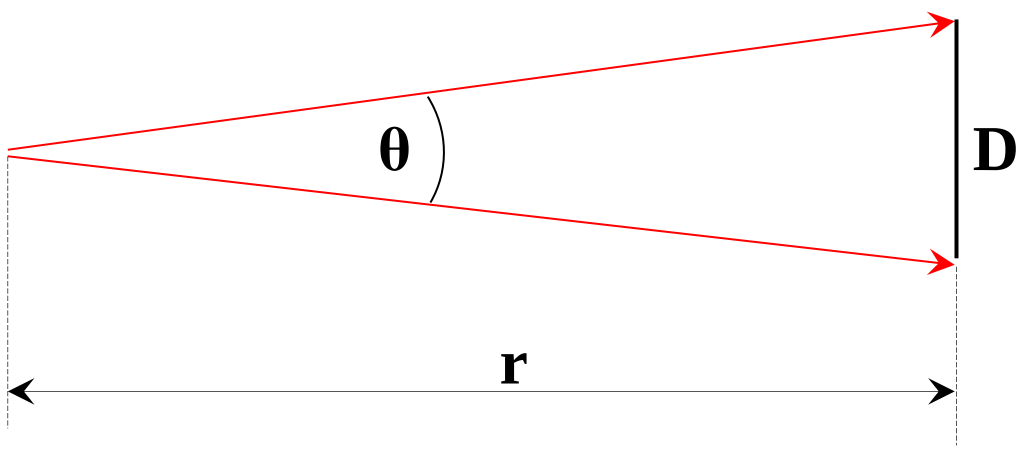
Таким образом, при обозначенных в условиях задачи предположениях, масса галактики М87 составляет порядка $5 \cdot 10^{10}$ масс Солнца.

6. ***Лазером по Луне***

С помощью наземного телескопа лазерный луч можно дополнительно сфокусировать таким образом, чтобы он давал на поверхности Луны пятно размером около 3 км. Вычислите угол расходимости лазерного луча в этом случае. Помехами со стороны земной атмосферы пренебречь. Расстояние до Луны принять равным 384 400 км.

Решение

Сделаем небольшой рисунок, на котором через **r** обозначим расстояние до Луны, через **D** – диаметр лазерного пятна на поверхности Луна, а через **θ** – искомый угол расходимости лазерного пучка.



Учитывая малость угла **θ**, вычисления проще и быстрее сделать, если этот данный угол брать в радианном измерении. Тогда, как видно из рисунка, будет справедливым выражение:

$$\theta = \frac{D}{r}$$

Если теперь перейти к секундам дуги, то данное выражение примет вид:

$$\theta'' = 206\,265'' \cdot \frac{D}{r}$$

В результате получим значение для угла **θ**:

$$\theta'' = 206\,265'' \cdot \frac{3}{384\,400} = 1{,}6''$$

Учащийся может произвести свои вычисления, не пользуясь радианным измерением углов, а построив соответствующий прямоугольный треугольник и произведя расчеты при помощи тригонометрических функций (синуса или тангенса). Тогда при правильности всех построений, выкладок и расчетов задача также оценивается в полном объеме.