

## Конспект урока "Определение массы звёзд. Двойные звёзды"

На прошлом уроке мы с вами узнали, что звёзды отличаются большим разнообразием. И при первом знакомстве со звёздным небом обращает на себя внимание тот факт, что звёзды разнятся по цвету. Гораздо сильнее это заметно при рассмотрении их спектров. С учётом видов спектральных линий и их интенсивности строится спектральная классификация звёзд, которая отражает уменьшение температуры атмосферы звезды от класса О к классу М.

Однако не только цветом и температурой могут отличаться звёзды. Как показали наблюдения, многие из них образуют пары или являются членами сложных систем. При этом только в нашей Галактике примерно половина всех звёзд принадлежит к двойным системам.

**Двойными звёздами** называют близко расположенные пары звёзд.



Среди звёзд, которые видны на небе рядом, различают **оптические двойные** и **физические двойные**. В первом случае две звезды проецируются на небесную сферу рядом друг с другом. Хотя в действительности они могут располагаться на огромном расстоянии друг от друга.

А вот физические двойные звёзды действительно расположены в пространстве рядом друг с другом. Они не только связаны между собой силами тяготения, но и обращаются около общего центра масс.

Впервые идея о существовании двойных звёзд была выдвинута английским учёным и священником Джоном Мичеллом в 1767 году. А наблюдательные подтверждения этой гипотезы были опубликованы в 1802 году Уильямом Гершелем.



Первая известная ещё с древности звёздная пара — это Мицар и Алькор, наблюдаемые в ручке «ковша» Большой Медведицы. Эта звёздная пара — хороший пример оптической двойной звезды, так как Алькор отстоит от Мицара примерно на 12 угловых минут.



Но, если посмотреть на Мицар в телескоп, то легко можно заметить, что он состоит из двух очень близко расположенных звёзд, названных Мицаром А и Мицаром В. Эта звёздная пара — пример физической двойной звезды.

Когда число звёзд в системе, связанных взаимным тяготением, оказывается больше двух, то их называют **кратными**. Существуют звёзды тройные, четверные и даже более высокой кратности. Примером кратных звёзд может служить тройная звезда  $\alpha$  Центавра. Причём, что

интересно, одна из компонентов — Проксима — является ближайшей к Земле звездой после Солнца.

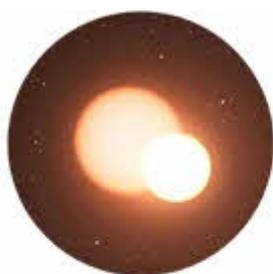
К кратным звёздам принято причислять звёзды, имеющие менее 10 компонентов. Если же в системе насчитывается большее количество звёзд, то её называют **звёздным скоплением**. Классическим примером служит рассеянное скопление Плеяд, видимое на ночном небе невооружённым глазом.



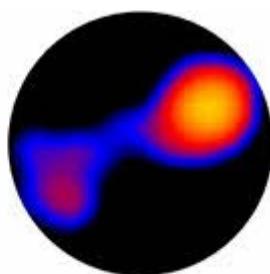
Физические двойные звёзды, в зависимости от способа их наблюдения, принято делить на несколько классов. Рассмотрим их поподробнее.



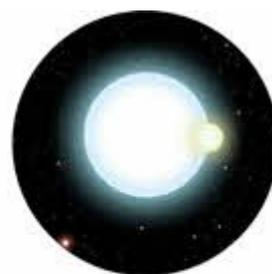
Визуально-двойные



Затменно-двойные



Спектрально-двойные



Астрометрически-двойные

**Визуально-двойные звёзды** — это двойные звёзды, компоненты которых можно увидеть отдельно (в телескоп или сфотографировать). Возможность наблюдать звезду как визуально-двойную определяется разрешающей способностью телескопа. Поэтому все известные визуально-двойные звёзды расположены в окрестностях Солнца с очень большим периодом обращения (вплоть до нескольких тысяч лет). А их орбиты сравнимы по размерам с орбитами планет-гигантов нашей Солнечной системы. В связи с этим, из свыше 110 000 таких объектов менее чем у сотни орбиты определены с большой точностью.

Оказалось, что относительное видимое движение компонентов совершается по эллипсу и удовлетворяет закону площадей. Следовательно, в двойных системах обращения звёзд вокруг общего центра масс происходят в соответствии с законами Кеплера и подчиняются закону всемирного тяготения Ньютона.

Из этого следует, что при известном расстоянии до этих систем использование третьего обобщённого закона Кеплера позволяет определить их массу. Для этого достаточно сравнить движение спутника звезды с движением Земли вокруг Солнца.

$$\frac{T_1^2(m_1 + m_2)}{T_2^2(M_1 + M_2)} = \frac{A^3}{a^3}$$

Приняв массу Солнца равной единице большую полуось земной орбиты равной одной астрономической единице и пренебрегая массой Земли по сравнению с массой Солнца, получим соотношение, по которому можно определить суммарную массу двойной системы, выраженную в массах Солнца:

$$m_1 + m_2 = \frac{A^3}{T_1^2}$$

Если же необходимо вычислить массу каждого компонента звёздной пары, то надо изучить движение каждой из них и вычислить их расстояния от общего центра масс:

$$A = A_1 + A_2.$$

Тогда отношение масс компонентов звёздной пары будет обратно пропорционально отношению больших полуосей их орбит:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{A_2}{A_1}.$$

Для примера давайте с вами определим сумму масс и массу звёзд двойной звезды, годичный параллакс которой составляет  $0,08''$ . Будем считать, что период обращения компонентов равен 56 годам, а большая полуось видимой орбиты равна  $3''$ . Компоненты звезды отстоят от центра масс на расстояниях, относящихся как 1 : 7.

ДАНО	РЕШЕНИЕ
$p = 0,08''$ $T = 56 \text{ лет}$ $a = 3''$ $\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{7}$	<p>Третий закон Кеплера: <math>m_1 + m_2 = \frac{A^3}{T_1^2} = \frac{37,5^3 \text{ а.е.}}{56^2 \text{ лет}} \cong 16,8.</math></p> <p>Большая полуось системы: <math>A = \frac{a}{p} = \frac{3''}{0,08''} = 37,5 \text{ а.е.}</math></p>
$m_1 + m_2 = ?$ $m_1 = ?$ $m_2 = ?$	<p>Так как <math>\frac{m_2}{m_1} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{7}</math>, то <math>m_1 = 7m_2 = 7 \cdot 2,1 = 14,7.</math></p> <p>Тогда <math>7m_2 + m_2 = 16,8 \Rightarrow 8m_2 = 16,8 \Rightarrow m_2 = 2,1.</math></p>

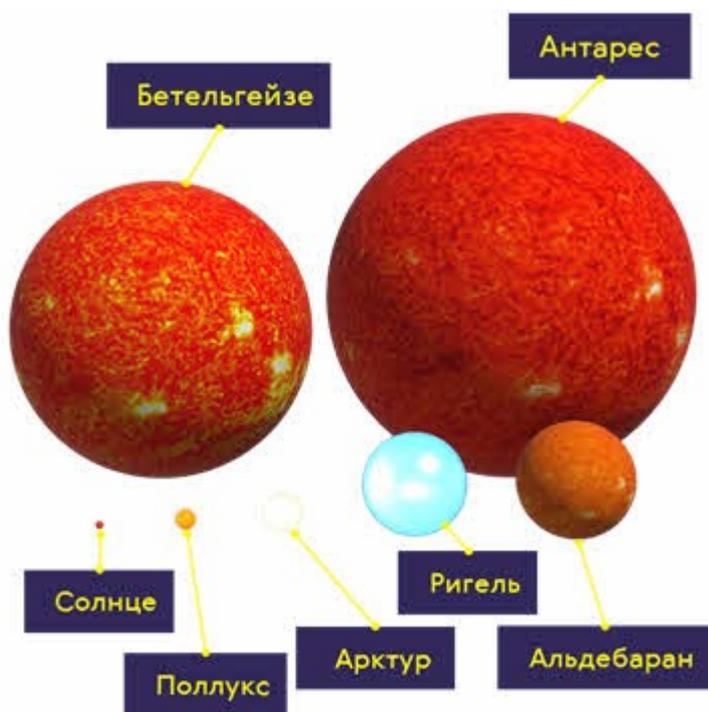


**ОТВЕТ:** масса компонент равна 14,7 и 2,1 массы Солнца, а их общая масса — 16,8 массы Солнца.

Наблюдения за двойными звёздами и оценка их масс для различных типов показали, что:

- массы звёзд колеблются в пределах 0,03—60 масс Солнца. Причём наибольшее количество звёзд имеет массу от 0,4 до 3 масс Солнца;

· существует зависимость между массами звёзд и их светимостями, что даёт возможность оценивать массы одиночных звёзд. Так, если масса звезды лежит в интервале от 0,5 до 10 масс Солнца, то её светимость пропорциональна 4 степени массы. Если же масса звезды больше 10 масс Солнца, — то 2 степени.

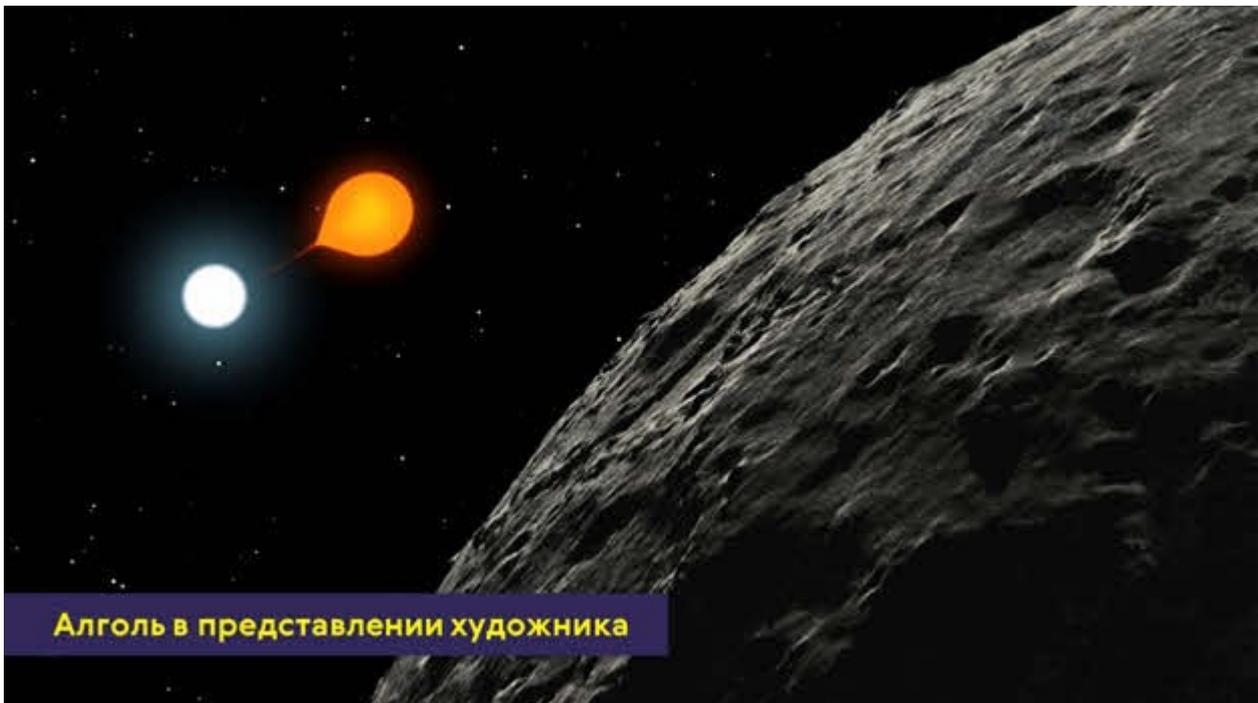


Второй класс двойных систем составляют **затменно-двойные или затменно-переменные звёзды**. Они представляют собой тесные пары, обращающиеся с периодом от нескольких часов до нескольких суток по орбитам, большая полуось которых сравнима с самими звёздами. Это приводит к тому, что угловое расстояние между звёздами очень мало. Поэтому мы не можем увидеть компоненты системы по-отдельности.

Однако судить о том, что система действительно является двойственной, можно по периодическим колебаниям её блеска. Предположим, что плоскости орбит звёзд по лучу зрения практически совпадают. Тогда при обращении звёздной пары, когда один из компонентов оказывается впереди или сзади другого, наблюдаются затмения.

Разность звёздных величин в минимуме и максимуме блеска называется **амплитудой**. А промежуток времени между двумя последовательными наименьшими минимумами — **периодом переменности**.

Классическим примером затменно-переменной звезды является звезда  $\beta$  Персея (Алголь). Она каждые 2,567 суток затмевается на девять 9,6 часа.



Пока известно около 4000 затменно-двойных звёзд.

Следующий класс представляют **спектрально-двойные звёзды**. Это такие звёзды, двойственность которых устанавливается лишь на основании спектральных наблюдений.

Представьте, у нас есть две звезды: одна массивная и яркая А, вторая — менее яркая и массивная В. Обе они обращаются вокруг общего центра масс системы, то приближается к наблюдателю, то удаляется от него.

Вследствие эффекта Доплера в первом случае линии в спектре звезды будут смещаться в фиолетовую область спектра, а во втором — в красную. Причём период этих смещений будет равен периоду обращения звёзд.

Эталонный спектр



Спектр двойной системы с яркими компонентами



Спектр двойной системы с одной из компонент большой яркости



Интересно, что благодаря этому методу в 1995 году у звезды 51 Пегаса был обнаружен спутник, масса которого составляла около половины массы Юпитера. Так была найдена первая **экзопланета** (так называют планеты, находящиеся вне Солнечной системы).



Экзопланета 51 Пегаса b

На середину октября 2017 года спектральным методом достоверно подтверждено существование 3672 экзопланет в 2752 планетных системах.

И последний класс двойственных систем представляют **астрометрически-двойные звёзды**. Они представляют собой очень тесные звёздные пары, в которых одна из звёзд или очень мала по размерам, или имеет низкую светимость.

Двойственность такой звезды можно обнаружить лишь по отклонениям яркой компоненты от прямолинейной траектории то в одну, то в другую сторону. Вычисления показали, что такие возмущения пропорциональны массе спутника.

Среди близких к Солнцу звёзд обнаружено около 20 астрометрически-двойных систем.