

Двойные звезды. Определение масс звезд



Согласно прямым наблюдениям и косвенным оценкам почти половина всех звезд нашей Галактики входит в состав **двойных** и **кратных** систем.

Аналогичная картина наблюдается и в других галактиках.

Близко расположенные звезды движутся под влиянием сил взаимного **гравитационного притяжения**.

Две близкие звезды вращаются вокруг общего **центра масс**.

Иногда две, три и более близких пар звезд образуют **кратную** систему.

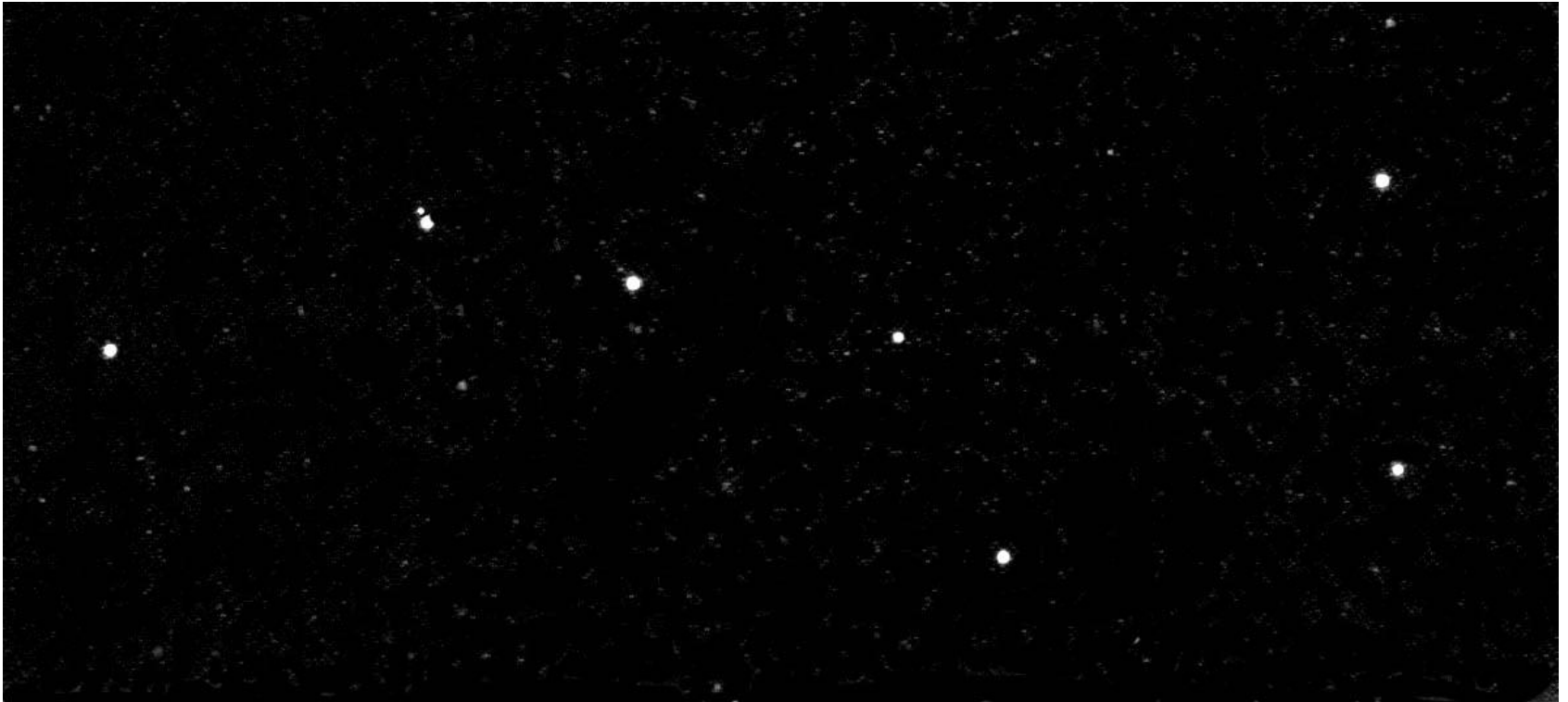
Примеры двойных и кратных систем

Звезда	Звёздные величины m	Угловое расстояни е	Примечание
γ Андромеды	2.3; 5.1	10.0"	Оранжевая и голубая
β Единорога	4.7; 5.2; 5.6	7.4"; 2.8"	Тройная
α Г. Псы	2.9; 5.4	19.7"	Оранжевая и лиловая
ζ Б. Медведицы	2.2; 4.0	12'	Видны невооружённым глазом
β Скорпиона	2.9; 5.1	13.7"	Белая и зелёная
ν Скорпиона	4; 6; 7; 8	41.4"	Четверная
α Скорпиона	1.2; 5.0	2.9"	Оранжевая и голубая
ϵ Лиры	5; 6; 5; 5	208"	Четверная
β Лебедя	3.2; 5.4	34.6"	Жёлтая и голубая
γ Геркулеса	4.5; 5.5	11"	Красная и зелёная

Мицар и Алькор

С древнейших времен известно, что ζ Большой Медведицы (**Мицар**, $2,17^m$) имеет образует двойную систему с **Алькором** ($\sim 5^m$).

Расстояние между звездами ≈ 17000 а.е., период обращения $\approx 2 \cdot 10^6$ лет.



Мицар состоит из двух компонент: **Мицар А** и **Мицар В**, которые вращаются вокруг общего центра масс с периодом $\approx 2 \cdot 10^4$ лет.

Мицар А состоит из двух звезд, вращающихся с периодом $\approx 20,5$ суток !

Альфа Центавра

Тройная звезда.

Ближайшая звезда к Солнечной системе (**4,3 св.года**).

Компонента А: желтая звезда, сходная с Солнцем (спектральный класс G2).

Компонента В: оранжевая звезда, $L \approx L_{\odot}/3$, $T_E \approx 4150 \text{ K}$ (спектральный класс K5).

Период взаимного обращения компонент **А** и **В** ≈ 80 лет.

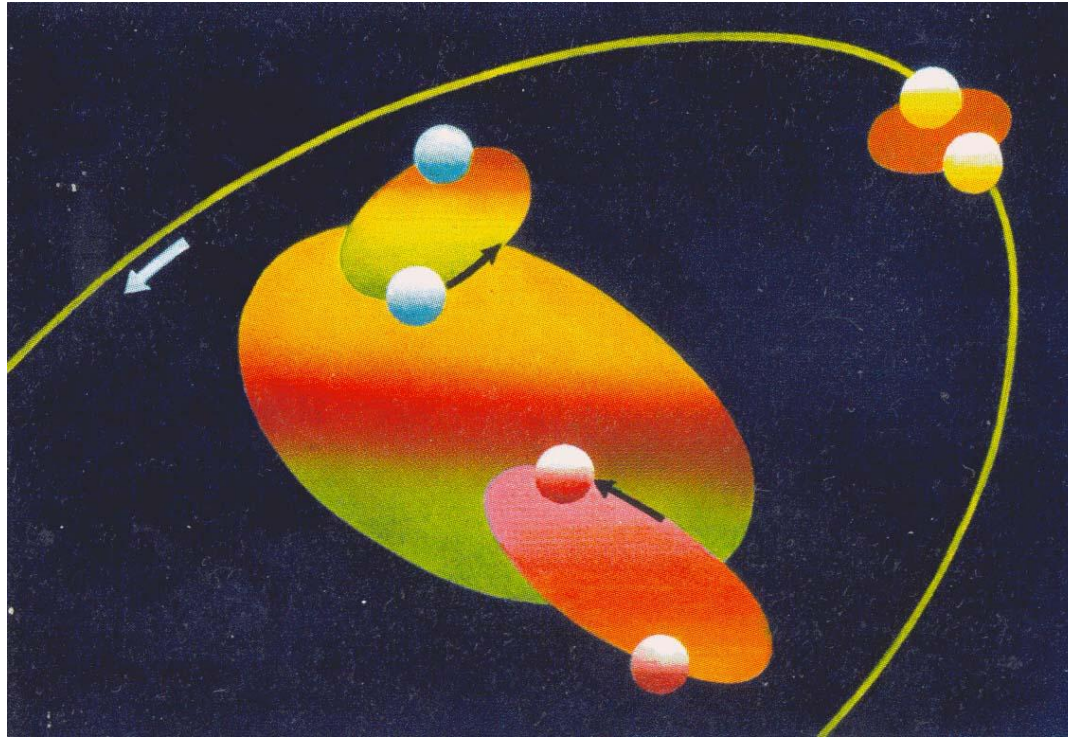
Третья компонента: **Проксима**.

Красный карлик, $L \approx 5 \cdot 10^{-5} L_{\odot}$

Находится ближе к Солнцу на **2400 а.е.**, чем компонента **А**.

Период обращения **Проксимы** вокруг пары (А + В) – **несколько тысяч лет**.

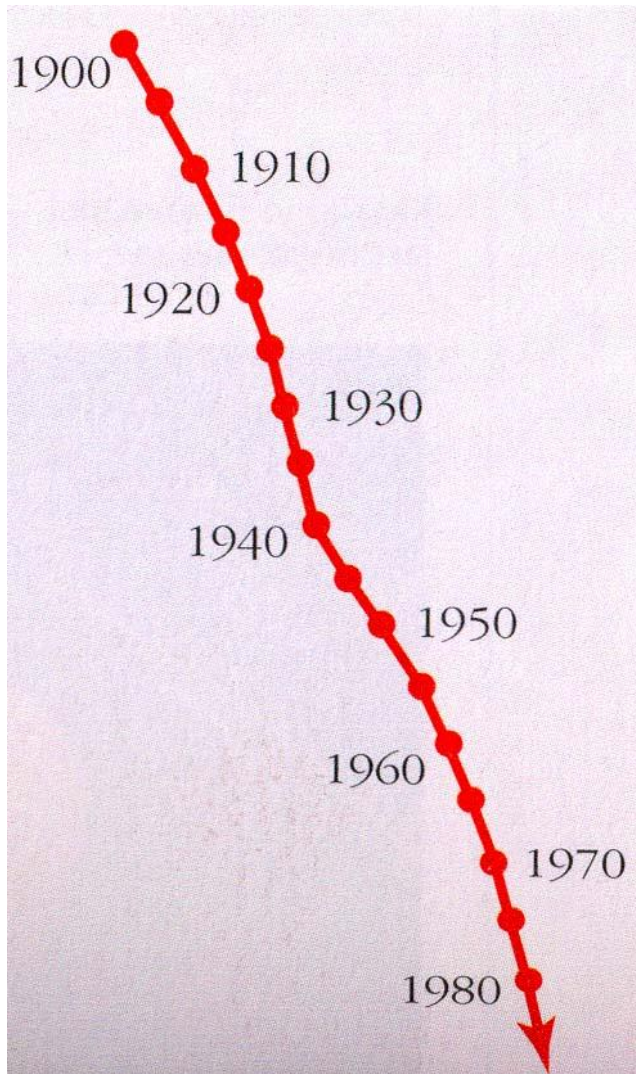
Кастор (α Близнецов): шестикратная звезда



Капелла (α Возничего): Четырехкратная звезда.

Альбирео (β Лебедя): большая оранжевая и малая голубая.

Сириус (α Большого пса)



Компонента А: Белый гигант $L \approx 22 L_{\odot}$
Компонента В: Белый карлик $L \sim 10^{-3} L_{\odot}$



Периоды обращения компонентов двойной системы могут
быть различными

Обнаружены пары звезд с периодом обращения порядка
нескольких часов.

Тесная пара звезд (**WZ Стрелы**) вращается с периодом ~
80 мин.

Вопросы:

1. Могут ли компоненты звездной пары вращаться с разными периодами ?
2. Обязательно ли звездам вращаться в одну и ту же сторону ?
3. Могут ли компоненты звездной пары вращаться в разных плоскостях ?
4. Могут ли траектории звезд пересекаться ?

Динамика системы двух тел

Рассмотрим две звезды с массами m_1 и m_2 , связанные силами взаимного гравитационного притяжения.

Движение двух тел, связанных силами гравитации, характеризуется движением эквивалентной материальной точки с приведенной массой m в центральном поле U .

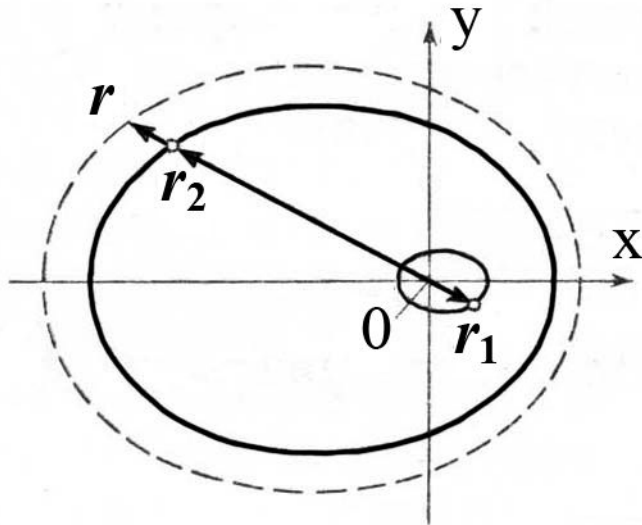
$$U = -G \frac{m_1 m_2}{r} \qquad m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

где G – гравитационная постоянная, r – расстояние от центра масс до эквивалентной материальной точки.

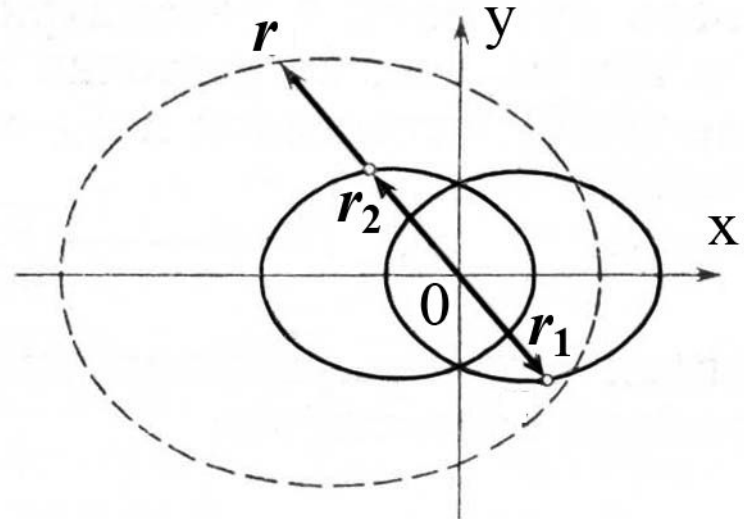
Траектории центров звезд пары

подобны эллипсу эквивалентной материальной точки

$$\begin{aligned} \boxed{r_1} &= -\frac{m_2}{m_1 + m_2} \boxed{r} & \nabla r &= \nabla r_2 - \nabla r_1 & \boxed{r_2} &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} \boxed{r} \end{aligned}$$



$$(m_2 \ll m_1)$$

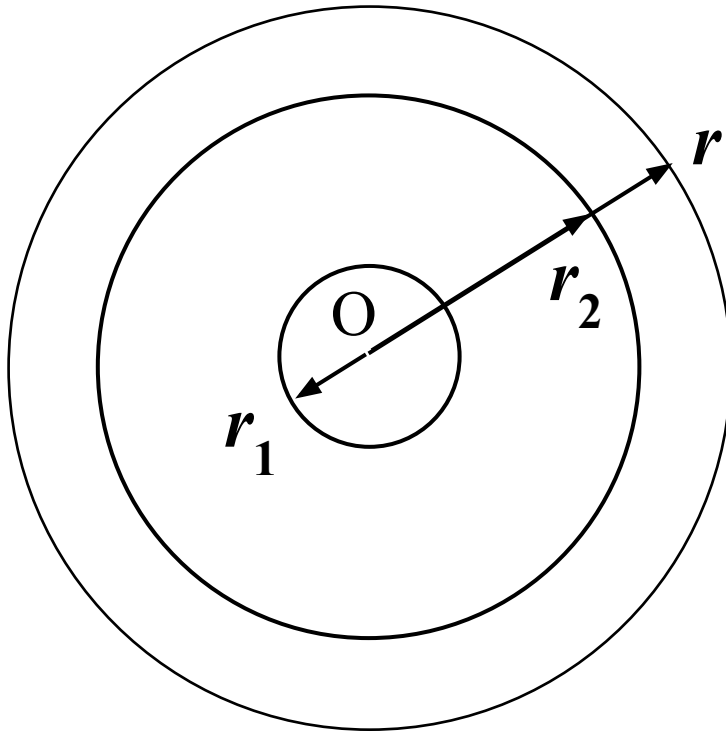


$$(m_2 = m_1)$$

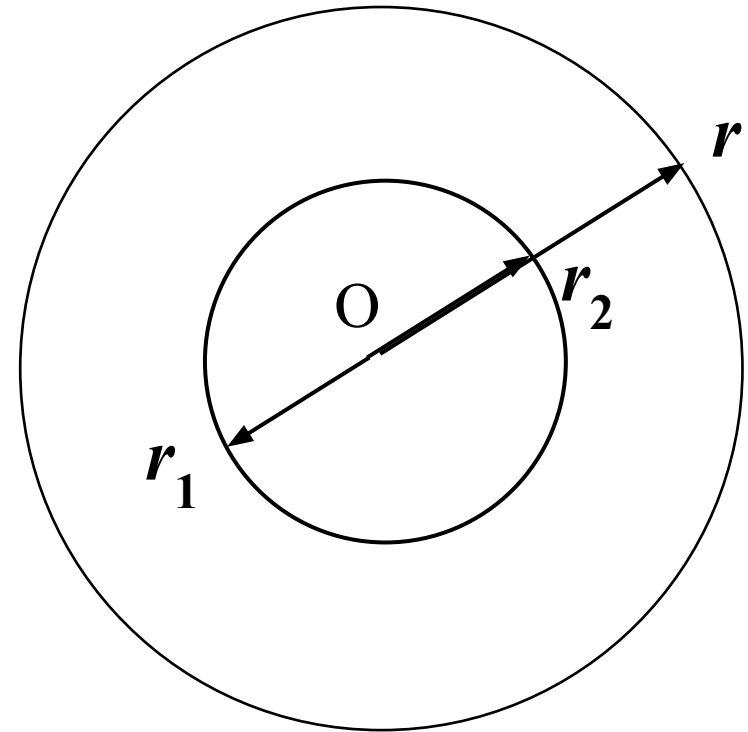
Штриховая линия – траектория эквивалентной материальной точки

Примеры круговых орбит

O – центр масс.



$$m_1 = 3 m_2$$



$$m_1 = m_2$$

Штриховая линия – траектория эквивалентной материальной точки

Начало координат совмещено с центром масс

$$m_1 \mathbf{r}_1 = -m_2 \mathbf{r}_2 \quad (1)$$

$$\mathbf{r}_1 \uparrow \downarrow \mathbf{r}_2$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (2)$$

У более массивной звезды меньший радиус орбиты или меньшая длина большой полуоси.

Массы компонентов двойной звезды могут быть определены:

Для визуально-двойных звезд:

На основании 3-закона Кеплера $m_1 + m_2 = a^3 / T^2$

и соотношения $m_1 r_1 = m_2 r_2$

Для спектрально-двойных:

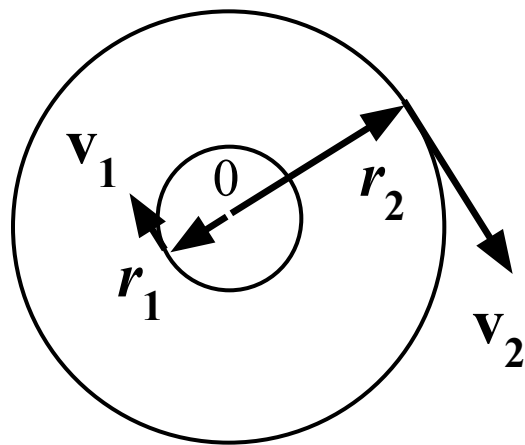
на основании анализа лучевых скоростей и эффекта Доплера

Дифференцирование по времени соотношения (1) дает уравнение

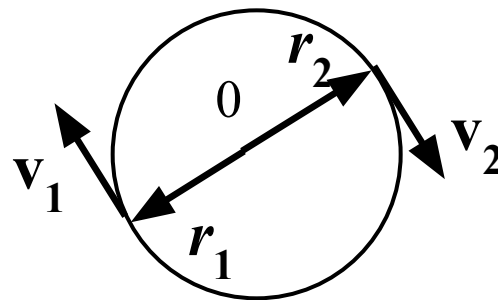
$$m_1 \mathbf{v}_1 = -m_2 \mathbf{v}_2 \quad , \quad \mathbf{v}_1 \uparrow \downarrow \mathbf{v}_2 \quad (3)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (4)$$

Более массивная звезда движется медленнее



$$m_1 = 3 m_2$$

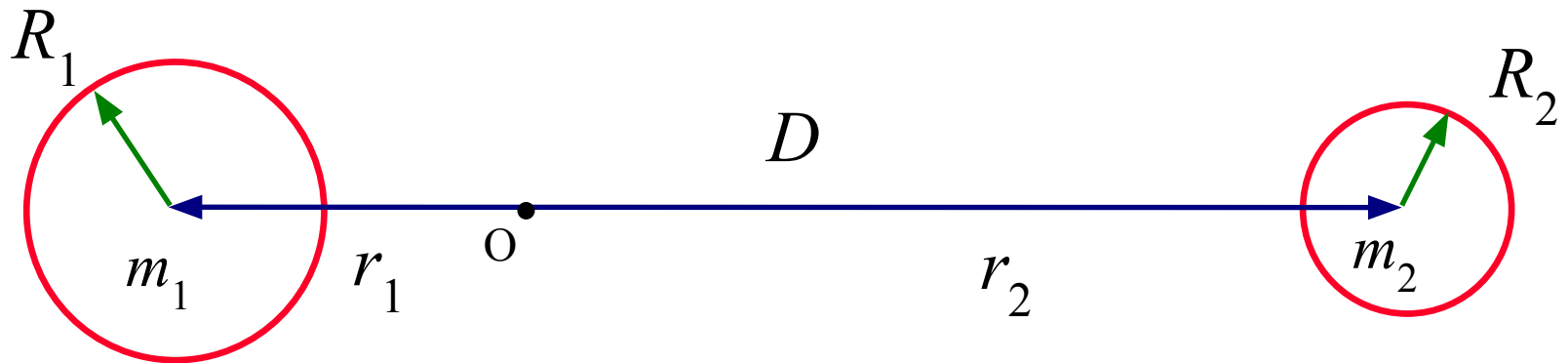


$$m_1 = m_2$$

Геометрическая схема системы двойной звезды

R_1 и R_2 – радиусы звезд

$$r_1 > R_1, \quad r_2 > R_2$$



Расстояние между центрами звезд

$$D = r_1 + r_2$$

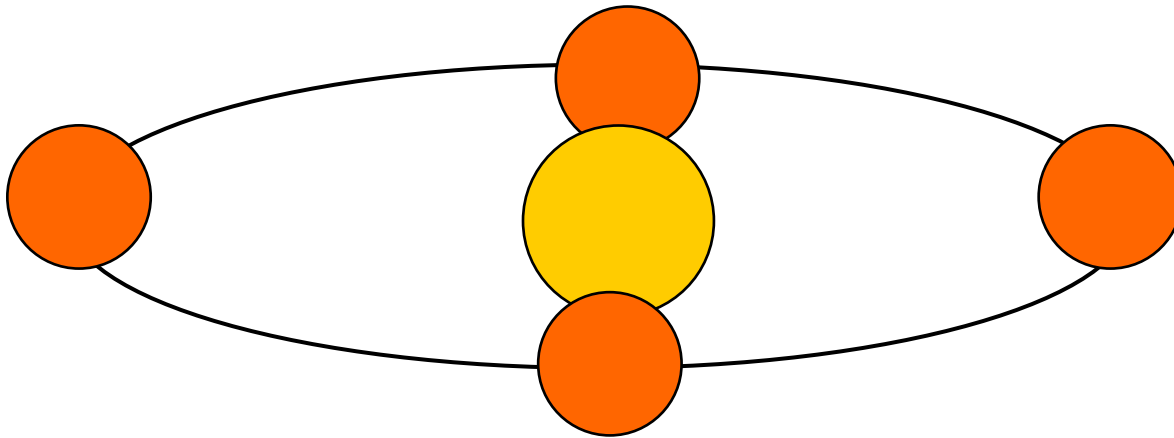
Ответы на вопросы

1. Могут ли компоненты звездной пары вращаться с разными периодами ? **Нет.**
2. Обязательно ли звездам вращаться в одну и ту же сторону ? **Обязательно.**
3. Могут ли компоненты звездной пары вращаться в разных плоскостях ? **Нет.**
4. Могут ли траектории звезд пересекаться ? **Да.**
При этом звезды никогда не сталкиваются.

Затменно-переменные звезды

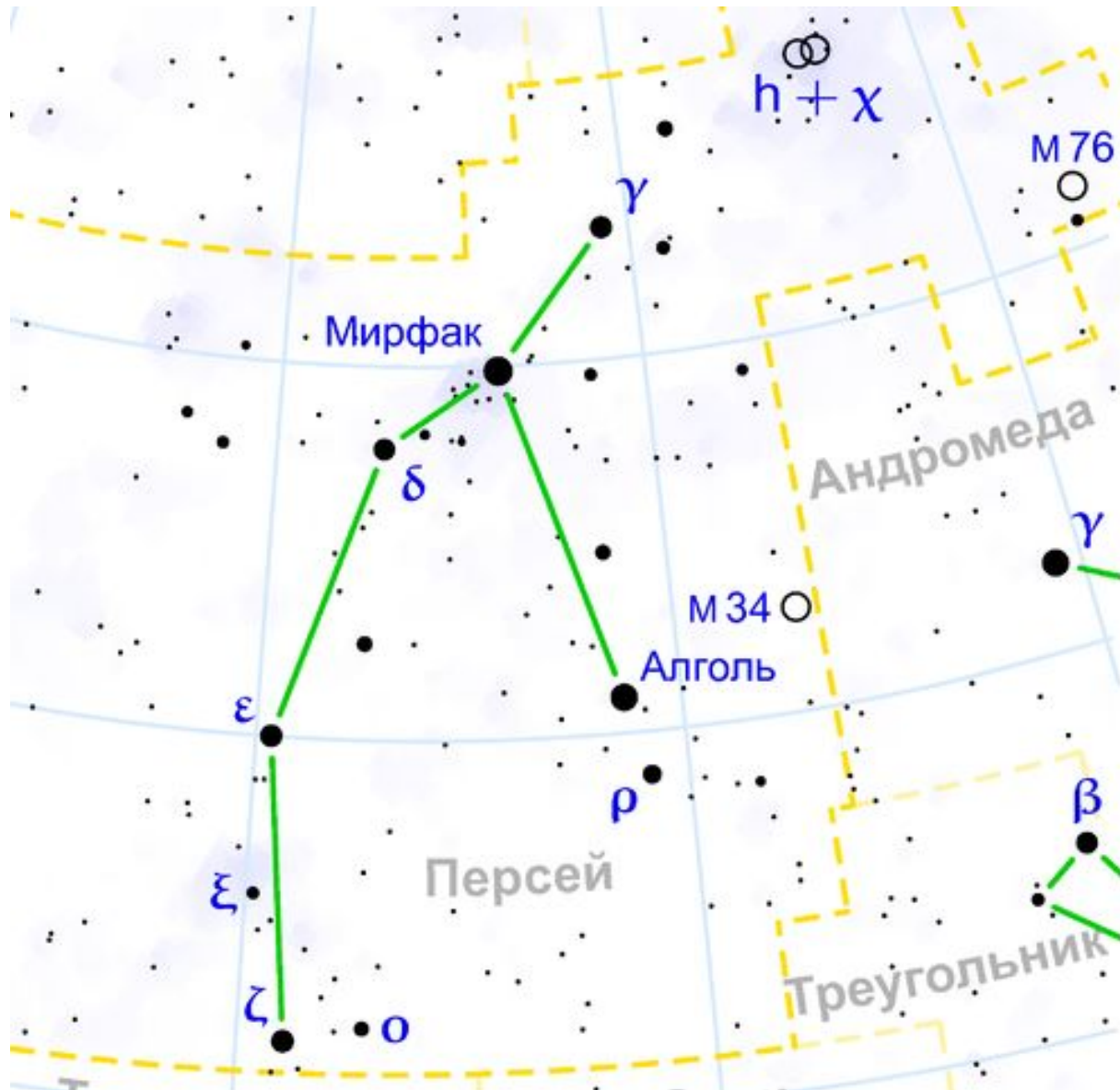
Направление от наблюдателя на центр масс двойной звезды проходит вблизи плоскости орбиты.

За период происходят по два затмения каждой звезды пары.



Взаиморасположение компонент затменно-переменной пары

Алголь (β Персея)



Алголь на арабском языке – **Дьявол**.



Ещё древние арабы заметили, что с течением времени эта звезда меняет яркость

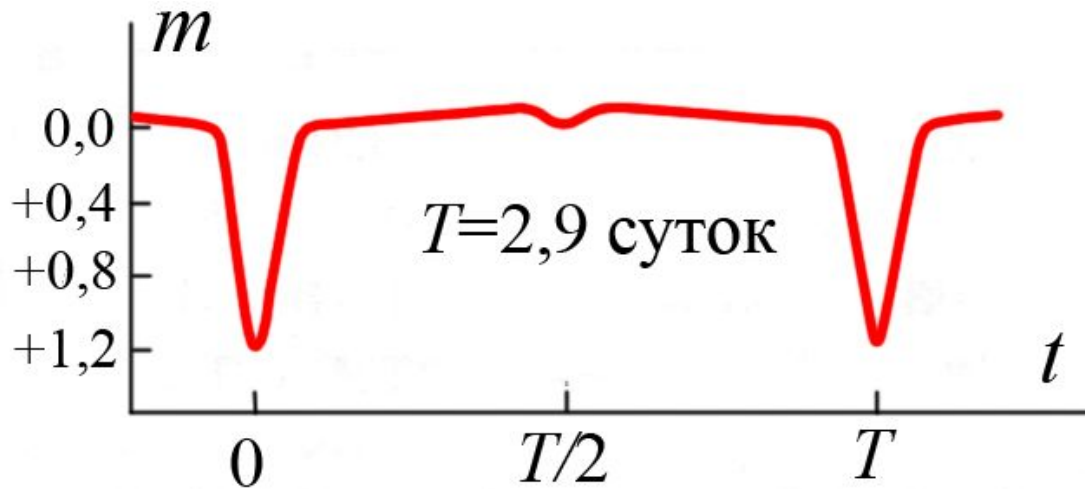
Созвездие Персея из атласа Гевелия.

Алголь – подмигивающий глаз отрубленной головы горгоны Медузы.

Алголь (β Персея)

В 1669 г. обнаружена переменность ее блеска (видимой звездной величины).

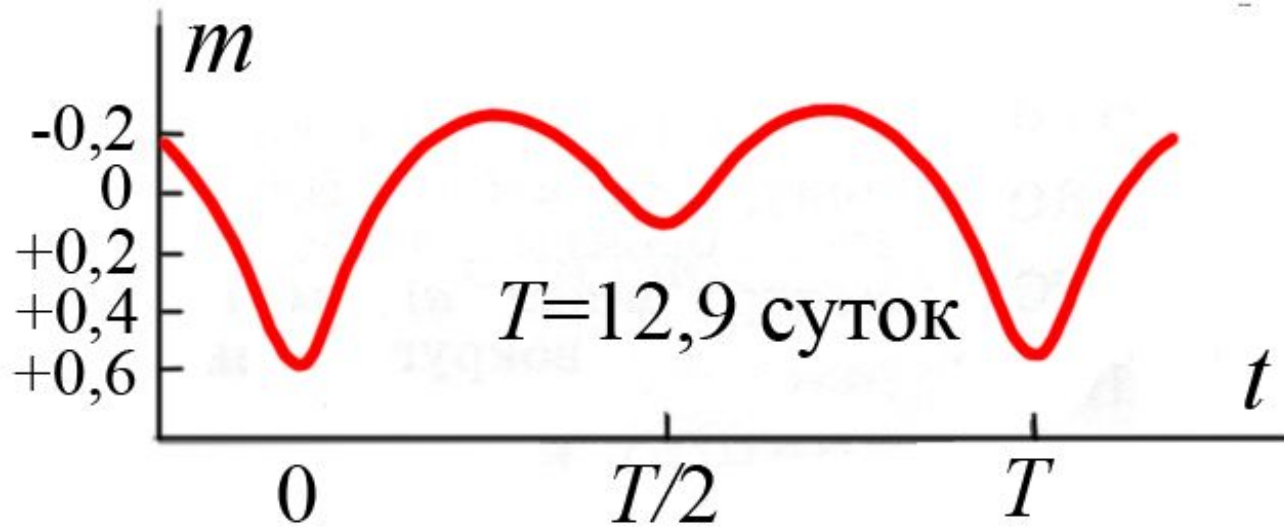
В конце XIX века измерена кривая периодичности блеска.



Период **$2^d 20^h 49^m$**

Глубокий минимум объясняется затмением более яркой компоненты, мелкий — затмением менее яркой.

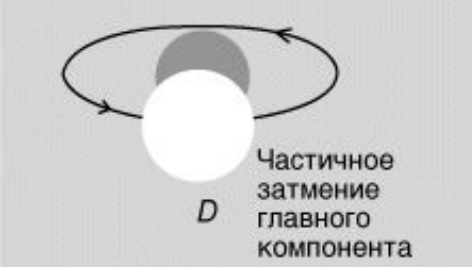
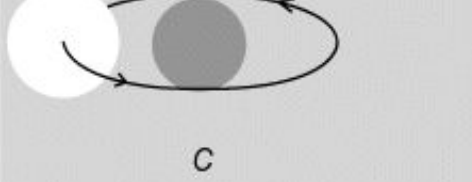
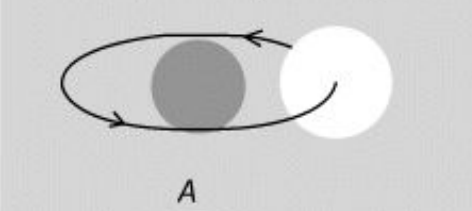
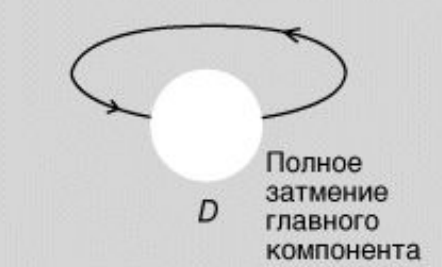
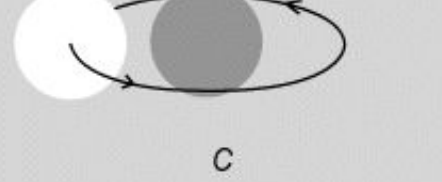
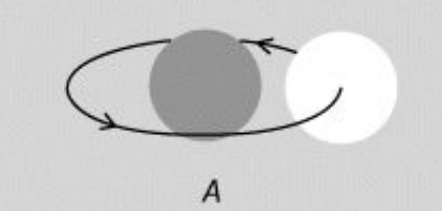
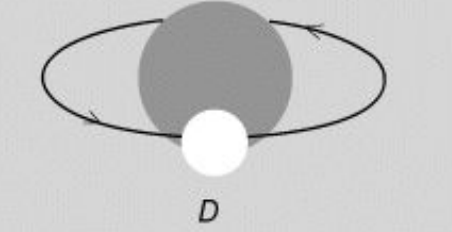
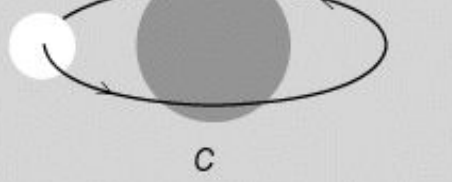
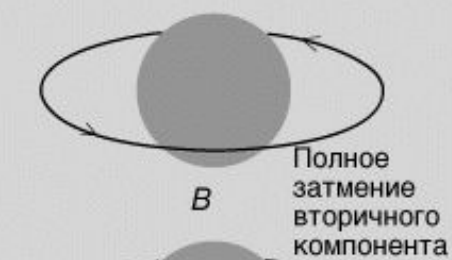
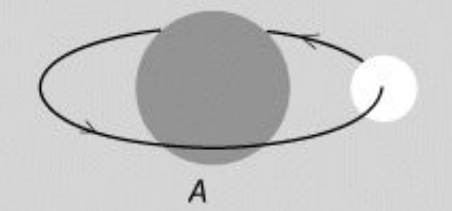
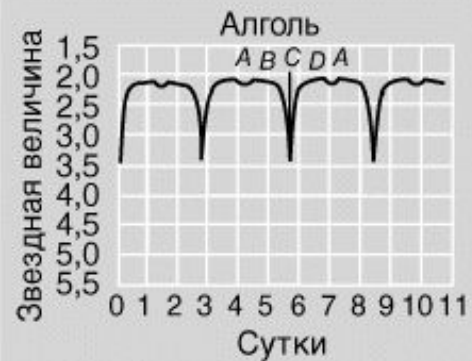
β Лирь



Кривая периодичности блеска



Искажение сферической формы звезд под действием взаимной гравитации



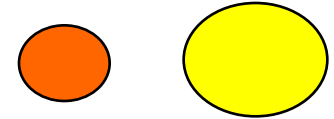
**Разные
виды
затмений
пары
звезд**

Поверхность любой звезды является **эквипотенциальной**.

Если звезды достаточно удалены друг от друга и угловая скорость обращения вокруг центра масс не очень велика, то форма звезд практически не отличается от **сферической**.

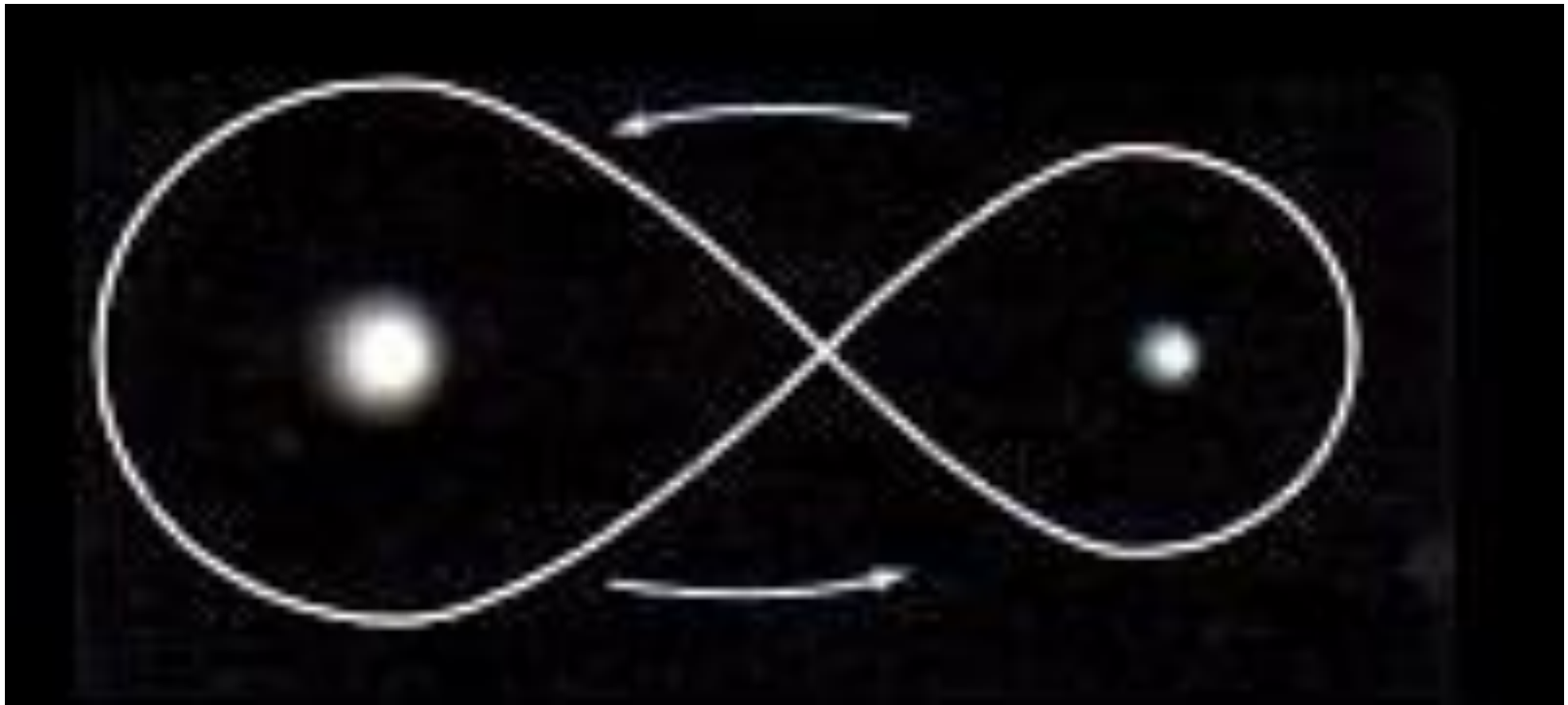


При нарушении указанных условий форма звезд становится **дынеобразной**, что и наблюдается.



Массообмен между компонентами звездной пары

В начальной стадии обе компоненты двойной звездной системы находятся на главной последовательности. Их радиусы меньше радиусов полостей Роша.



Массообмен между компонентами звездной пары

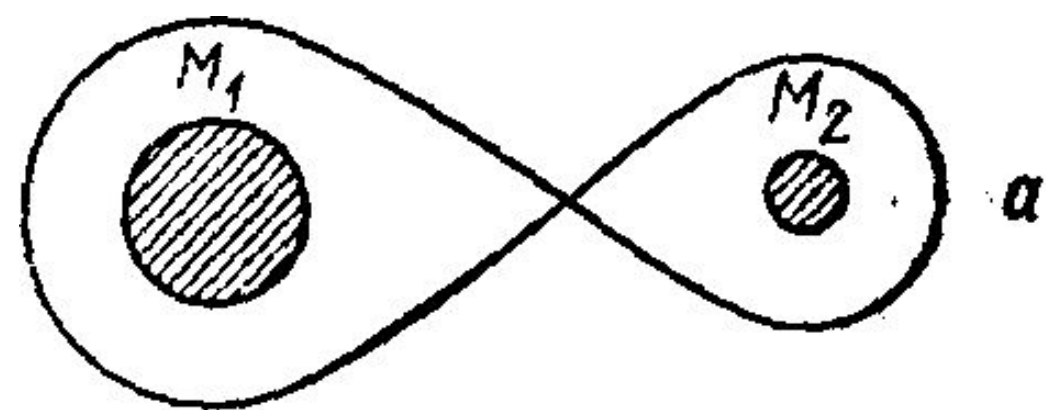
Более массивная звезда эволюционирует быстрее.

После израсходования водорода в центральной части она начинает превращаться в **красный гигант**.

Вторая, **менее массивная звезда** остается на главной последовательности, и ее радиус остается неизменным.

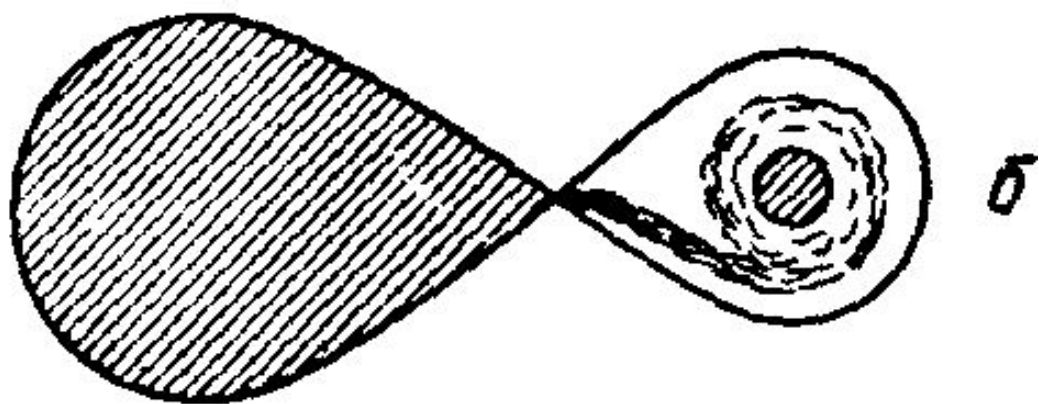
Более массивная звезда постепенно разбухает и заполняет свою **полость Роша**.

Далее начнется перетекание газа и плазмы на соседнюю звезду через **внутреннюю точку Лагранжа**.



a

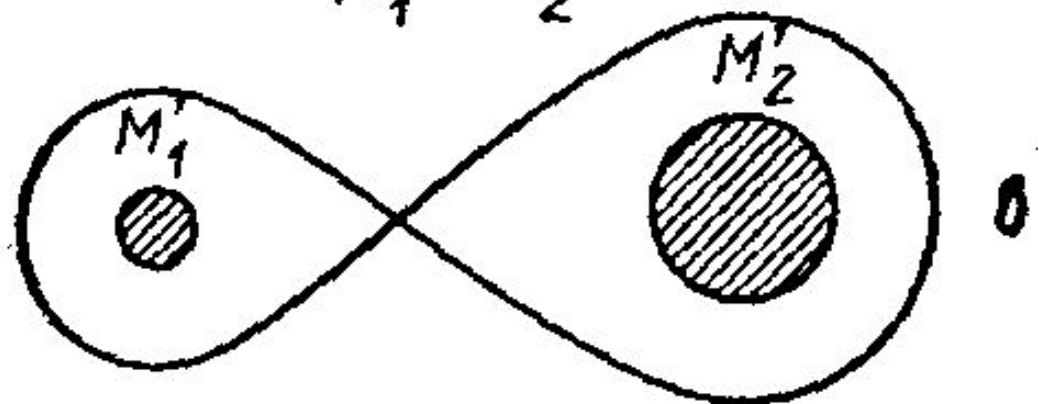
Массообмен
через
внутреннюю точку
Лагранжа



б

с формированием
аккреционного
диска

$$M'_1 < M'_2$$



в

В первом приближении можно считать, что суммарная масса пары звезд остается неизменной.

$$M_1 + M_2 = M \approx \text{const}$$

Размер первой звезды ограничен собственной **полостью Роша**. Эта звезда не может достичь огромных размеров и останется **субгигантом**. Светимость этой звезды увеличивается **не более, чем на порядок** по сравнению с первоначальной.

Обмен массой может происходить **до выравнивания масс звезд** и даже **до обратного соотношения**.

Например, если вначале было

$$M_1 = 5 M_{\odot}, M_2 = M_{\odot} / 2,$$

то после **массобмена** может быть

$$M_2 = 2 M_{\odot}$$

Различные варианты эволюции двойных систем зависят, прежде всего, от **масс** звезд.

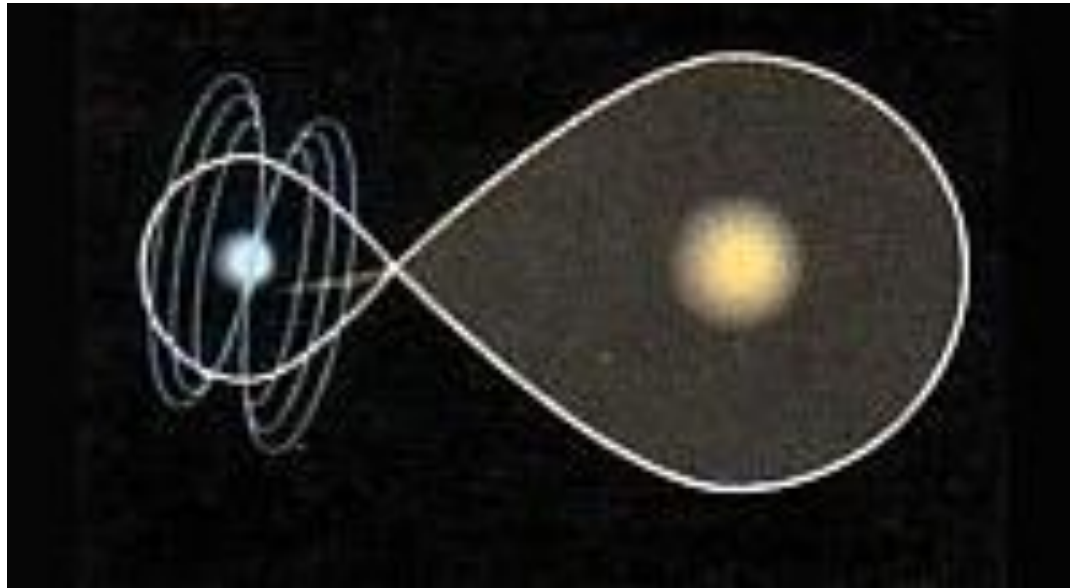
Возможен случай, когда масса **второй звезды** (на которую перетекает вещество) приобретает массу на порядок больше **первой**, но при этом еще будет принадлежать **главной последовательности**.

Пример : Алголь.

**Что произойдет дальше с первой звездой ?
Это существенно зависит от её массы.**

Первая звезда, израсходовав водород, превратится в **белый карлик** или **нейтронную звезду**, или **черную дыру**, т.е. в звезду малого радиуса.

Вторая звезда начнет превращаться в **красный гигант** и заполнять свою **полость Роша**.



В дальнейшем возможен **вторичный массообмен** (обратное перетекание вещества со второй звезды на первую).