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**.

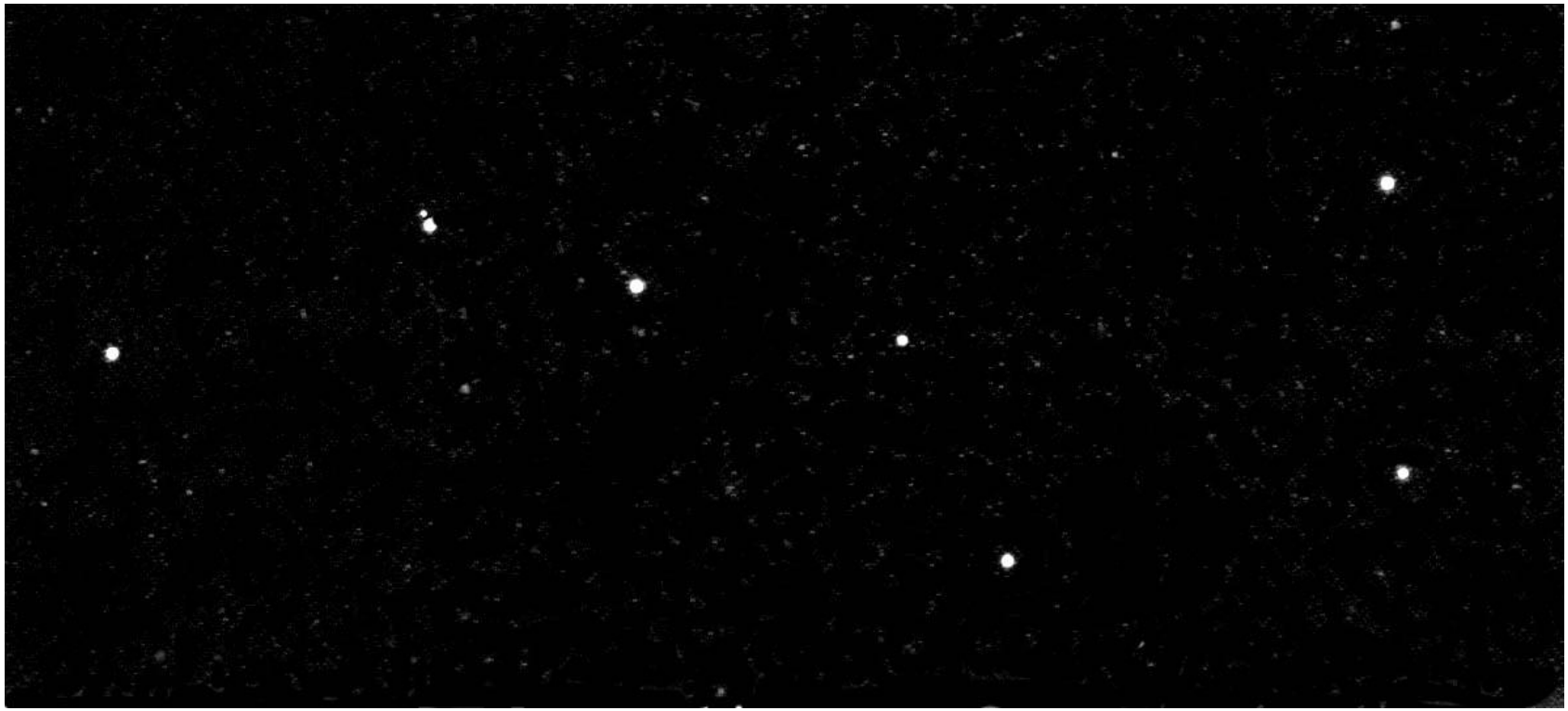
Иногда две, три и более близких пар звезд образуют **кратную** систему.

Примеры двойных и кратных систем

Звезда	Звёздные величины *m*	Угловое расстояние	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** (~**5^{m}**).
Расстояние между звездами ≈**17000 а.е.,** период обращения ≈ **$2 \cdot 10^{6}$ лет**.



Мицар состоит из двух компонент: **Мицар А** и **Мицар В**, которые вращаются вокруг общего центра масс с периодом ≈ **$2 \cdot 10^{4}$ лет**.
Мицар А состоит из **двух** звезд, вращающихся с периодом ≈ **20,5 суток** !

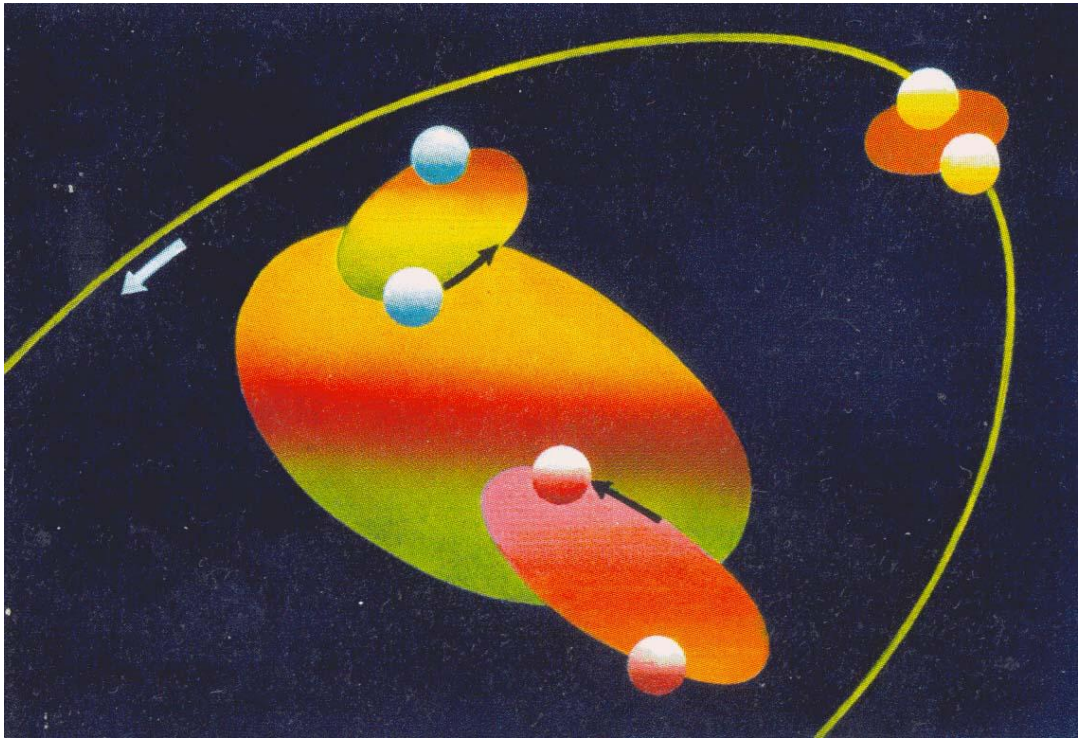
Альфа Центавра

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

Компонента A: желтая звезда, сходная с Солнцем (спектральный класс G2).
Компонента B: оранжевая звезда, $L \approx L_{\odot}/3$, $T_E \approx 4150$ K (спектральный класс K5).
Период взаимного обращения компонент **A** и **B** ≈ 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 **A**.
Период обращения **Проксимы** вокруг пары (A + B) – **несколько тысяч лет**.

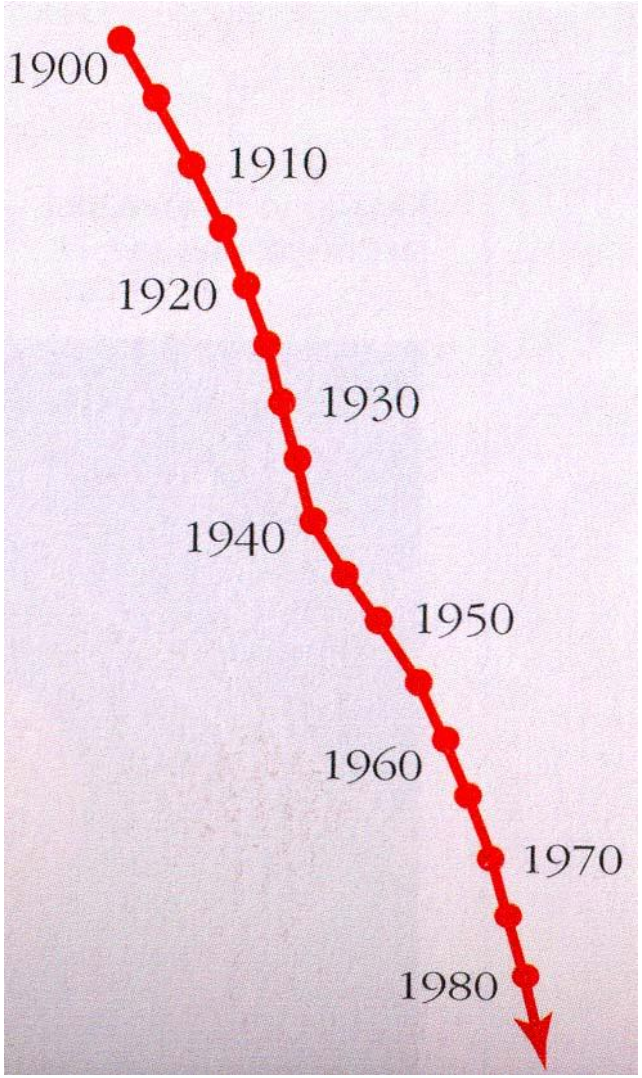
Кастор (α Близнецов): шестикратная звезда



Капелла (α Возничего): Четырехкратная звезда.

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

Сириус (α Большого пса)



Компонента A: Белый гигант $L \approx 22\ L_{\odot}$
Компонента B: 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.

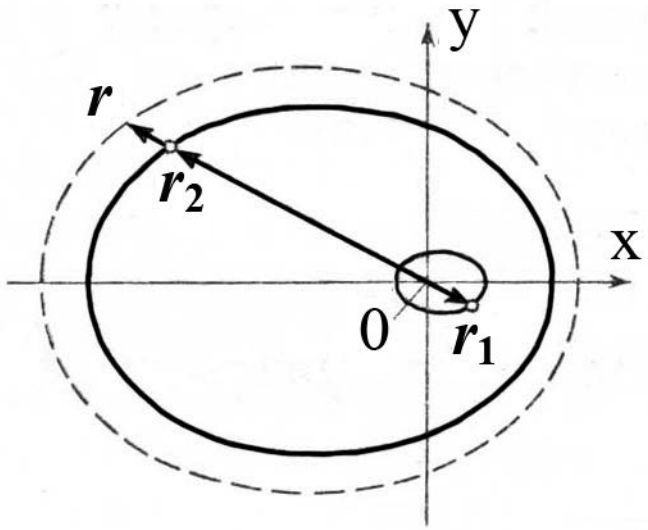
$$U = -G\frac{m_1 m_2}{r} \qquad m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

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

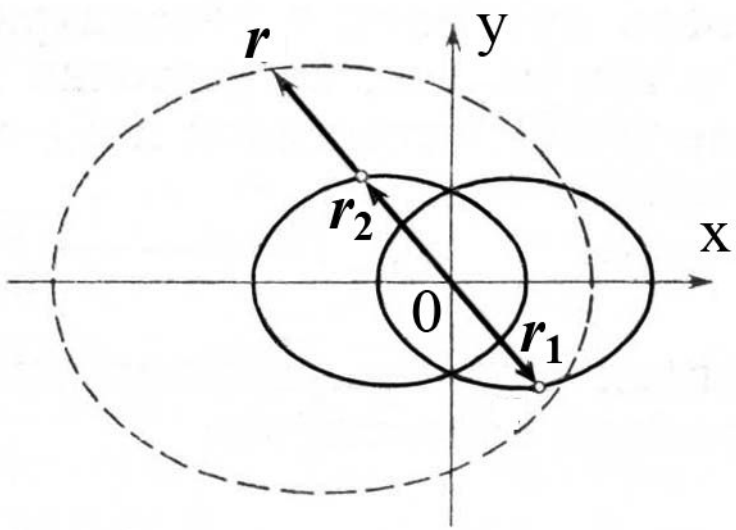
Траектории центров звезд пары

подобны эллипсу эквивалентной материальной точки

$$\vec{r}_1 = -\frac{m_2}{m_1 + m_2}\vec{r} \qquad \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \qquad \vec{r}_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}\vec{r}$$



$(m_2 << m_1)$

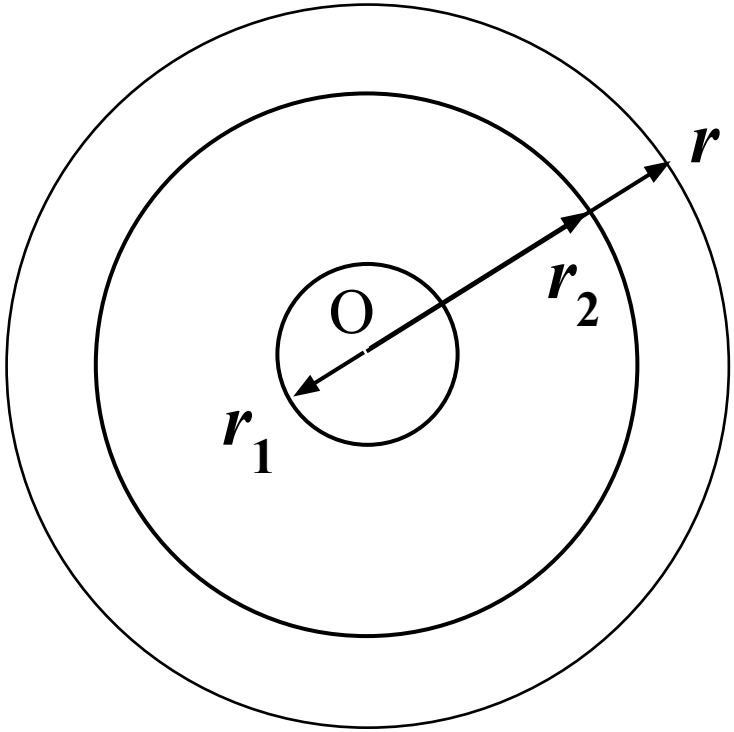


$(m_2 = m_1)$

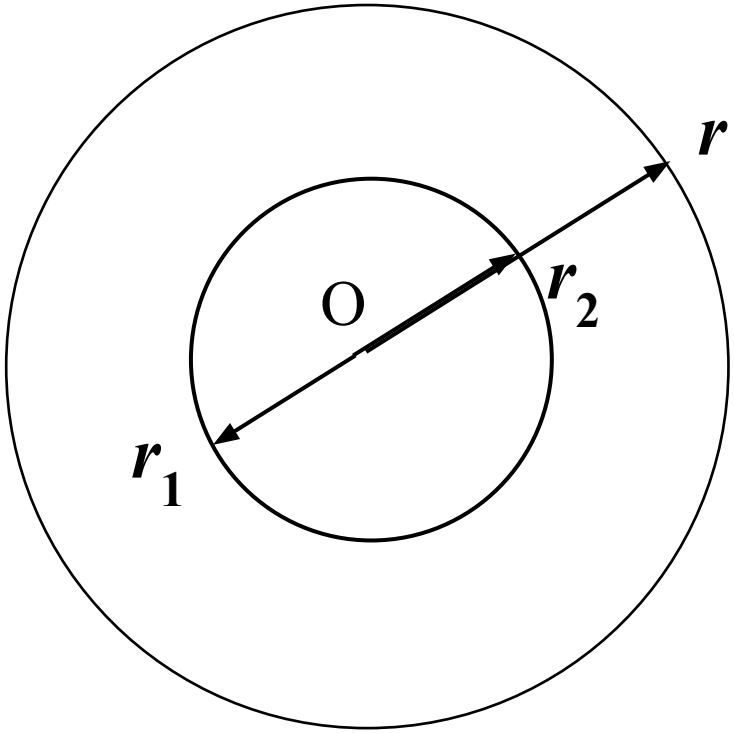
Штриховая линия – траектория эквивалентной материальной точки

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

$$m_1 \boldsymbol{r_1} = - m_2 \boldsymbol{r_2} \qquad (1)$$

$$\boldsymbol{r_1} \uparrow\downarrow \boldsymbol{r_2}$$

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

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 $m_1r_1=m_2r_2$

Для спектрально-двойных:

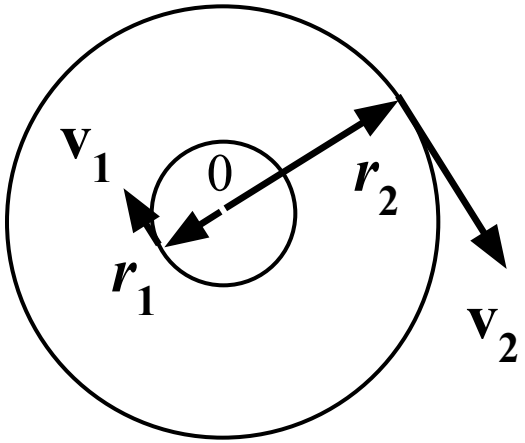
на основании анализа лучевых скоростей и эффекта Доплера

Дифференцирование по времени соотношения (1) дает уравнение

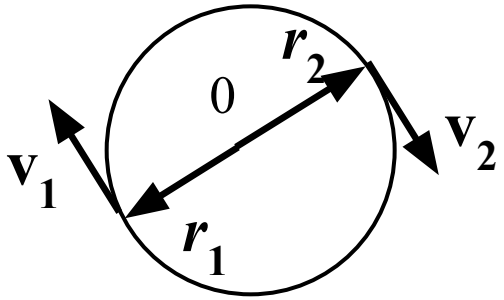
$$m_1 \mathbf{v_1} = - m_2 \mathbf{v_2} \quad , \qquad \mathbf{v_1} \uparrow\downarrow \mathbf{v_2} \tag{3}$$

$$\frac{\mathrm{v}_1}{\mathrm{v}_2} = \frac{m_2}{m_1} \tag{4}$$

Более массивная звезда движется **медленнее**



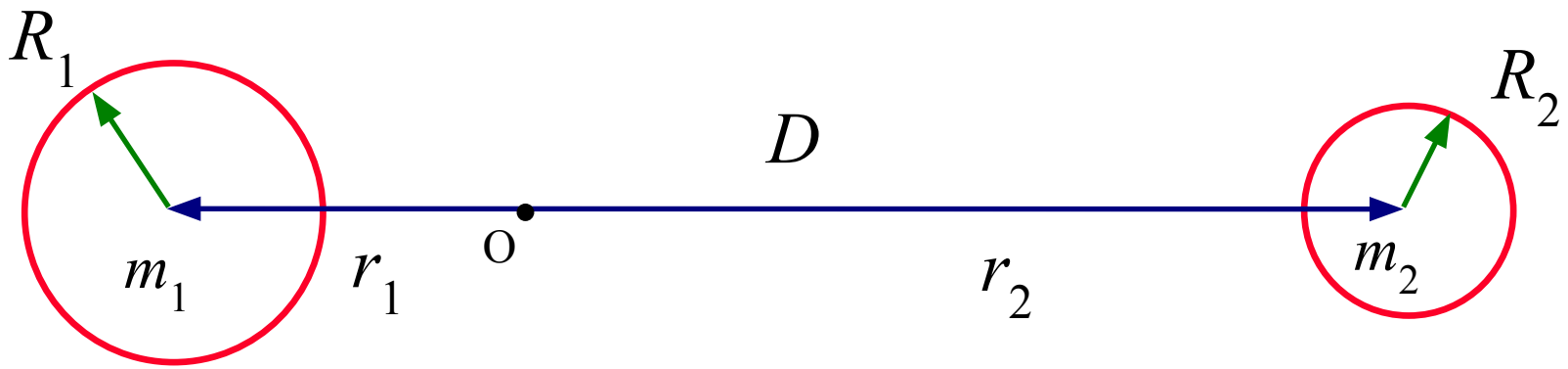
$m_1 = 3\ m_2$



$m_1 = m_2$

Геометрическая схема системы двойной звезды

R_1 и R_2 – радиусы звезд $\qquad r_1 > R_1\ ,\quad r_2 > R_2$



Расстояние между центрами звезд

$$\boldsymbol{D = r_1 + r_2}$$

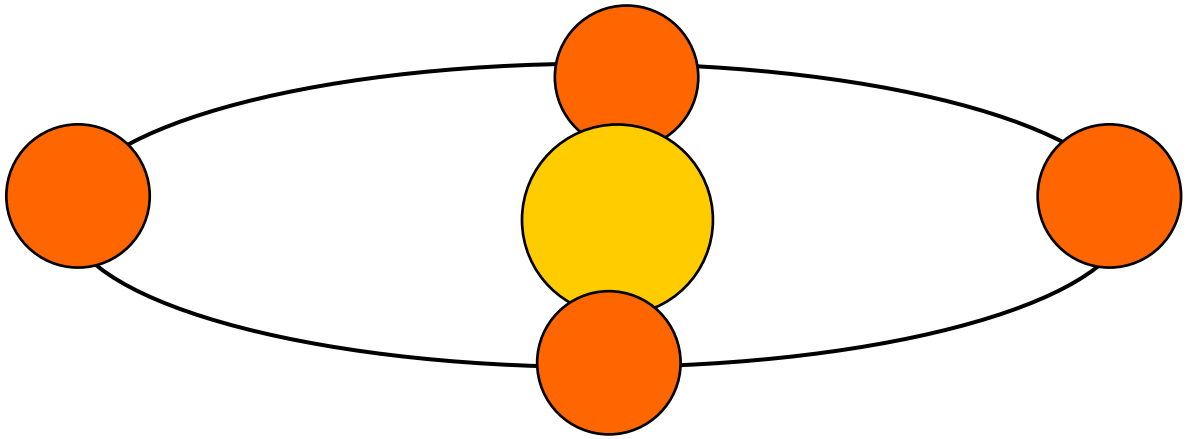
Ответы на вопросы

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

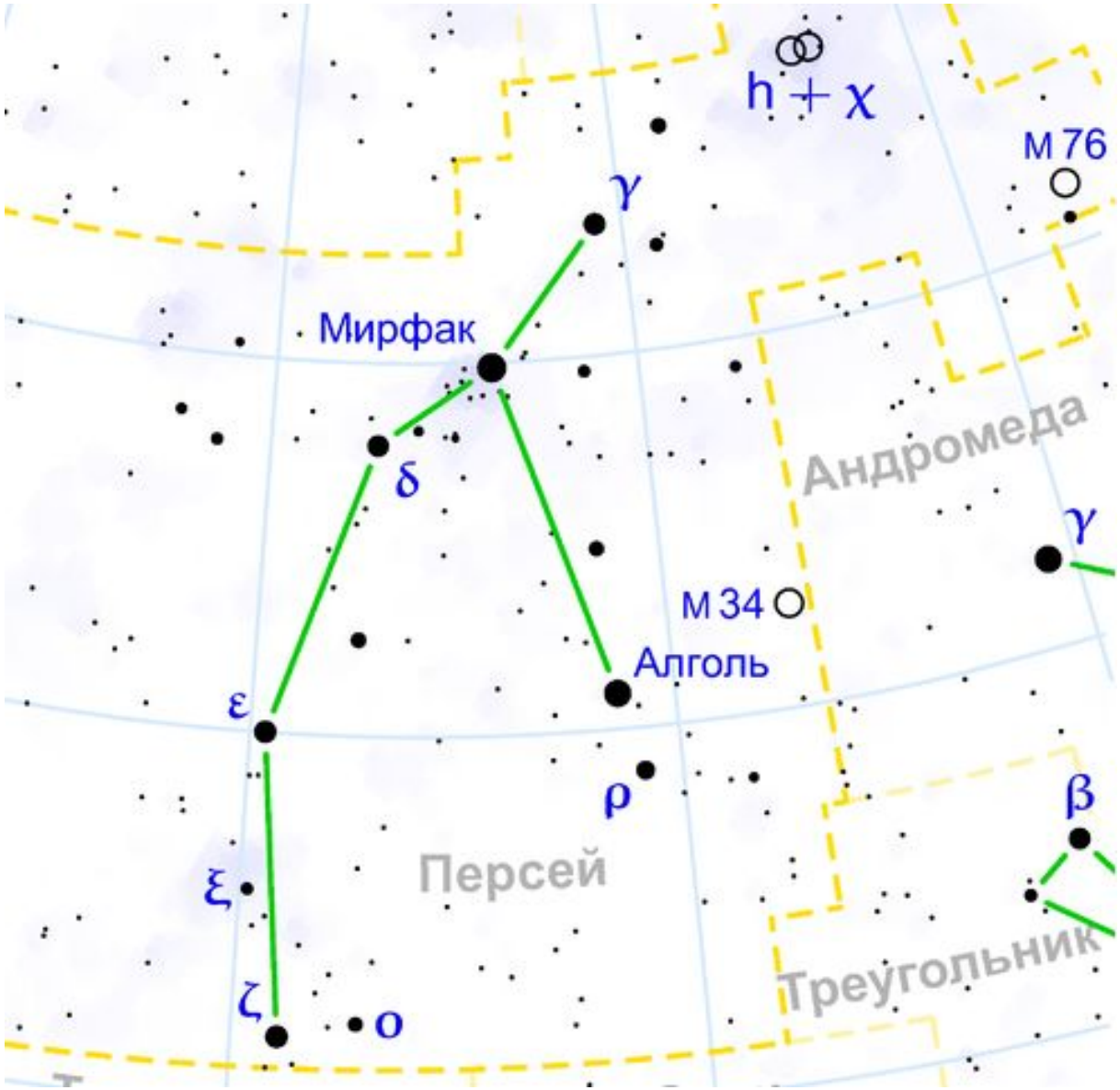
Направление от наблюдателя на центр масс двойной звезды проходит вблизи плоскости орбиты.

За период происходят по два затмения каждой звезды пары.



Взаиморасположение компонент затменно-переменной пары

Алголь (β Персея)



Алголь на арабском языке – **Дьявол**.

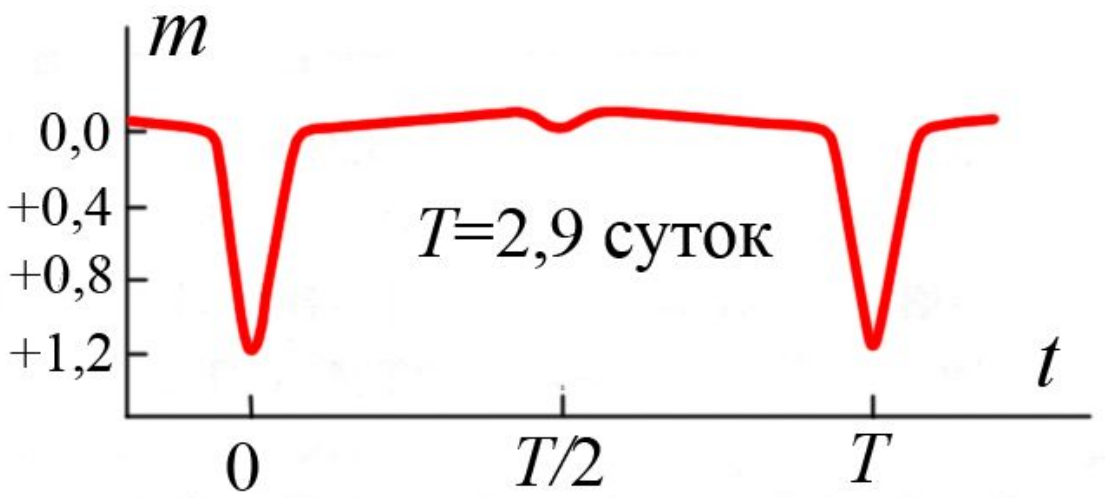
Ещё древние арабы заметили, что с течением времени эта звезда меняет яркость

Созвездие Персея из атласа Гевелия.

Алголь – подмигивающий глаз отрубленной головы горгоны Медузы.

Алголь (β Персея)

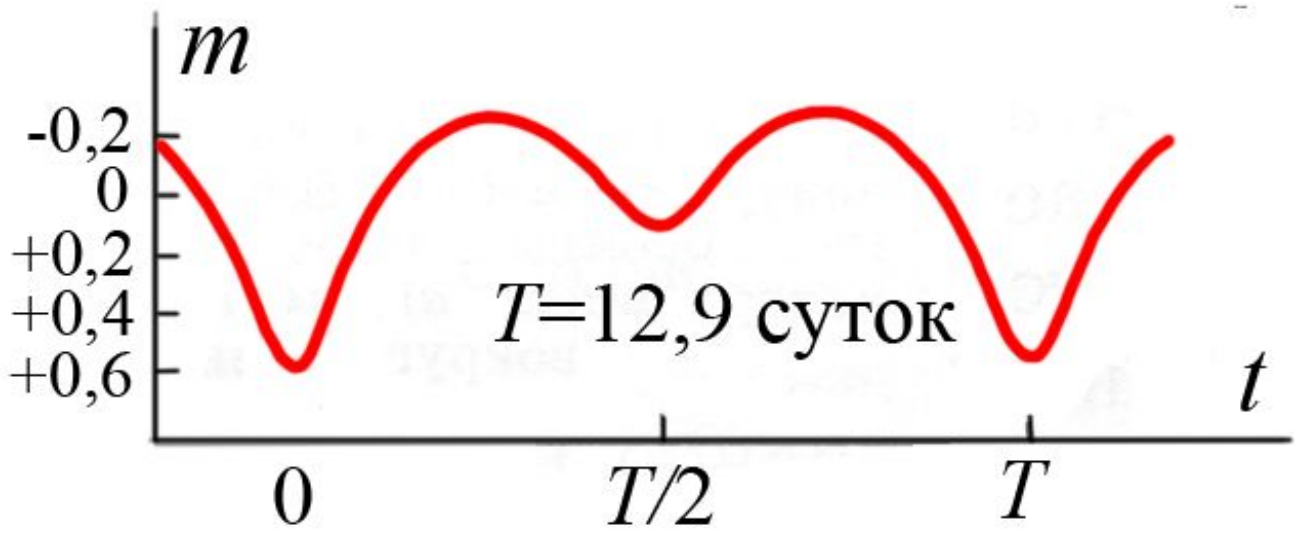
В 1669 г. обнаружена переменность ее блеска (видимой звездной величины).
В конце XIX века измерена кривая периодичности блеска.



Период $2^d 20^h 49^m$

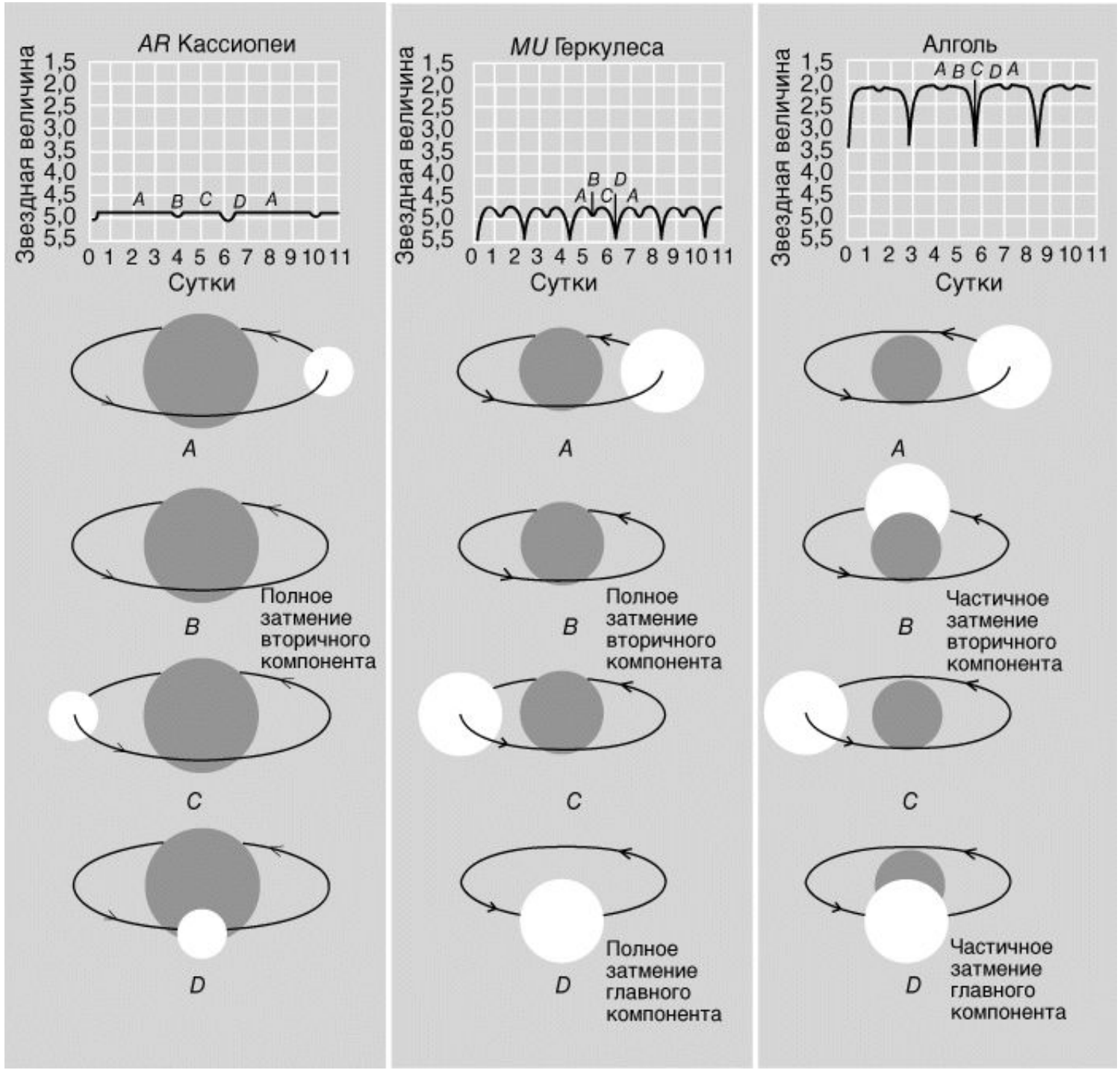
Глубокий минимум объясняется затмением более яркой компоненты, мелкий – затмением менее яркой.

β Лиры



Кривая периодичности блеска

Искажение сферической формы звезд под действием взаимной гравитации

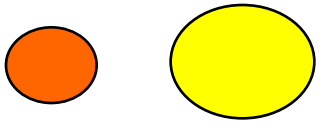


Разные виды затмений пары звезд

Поверхность любой звезды является **эквипотенциальной**.

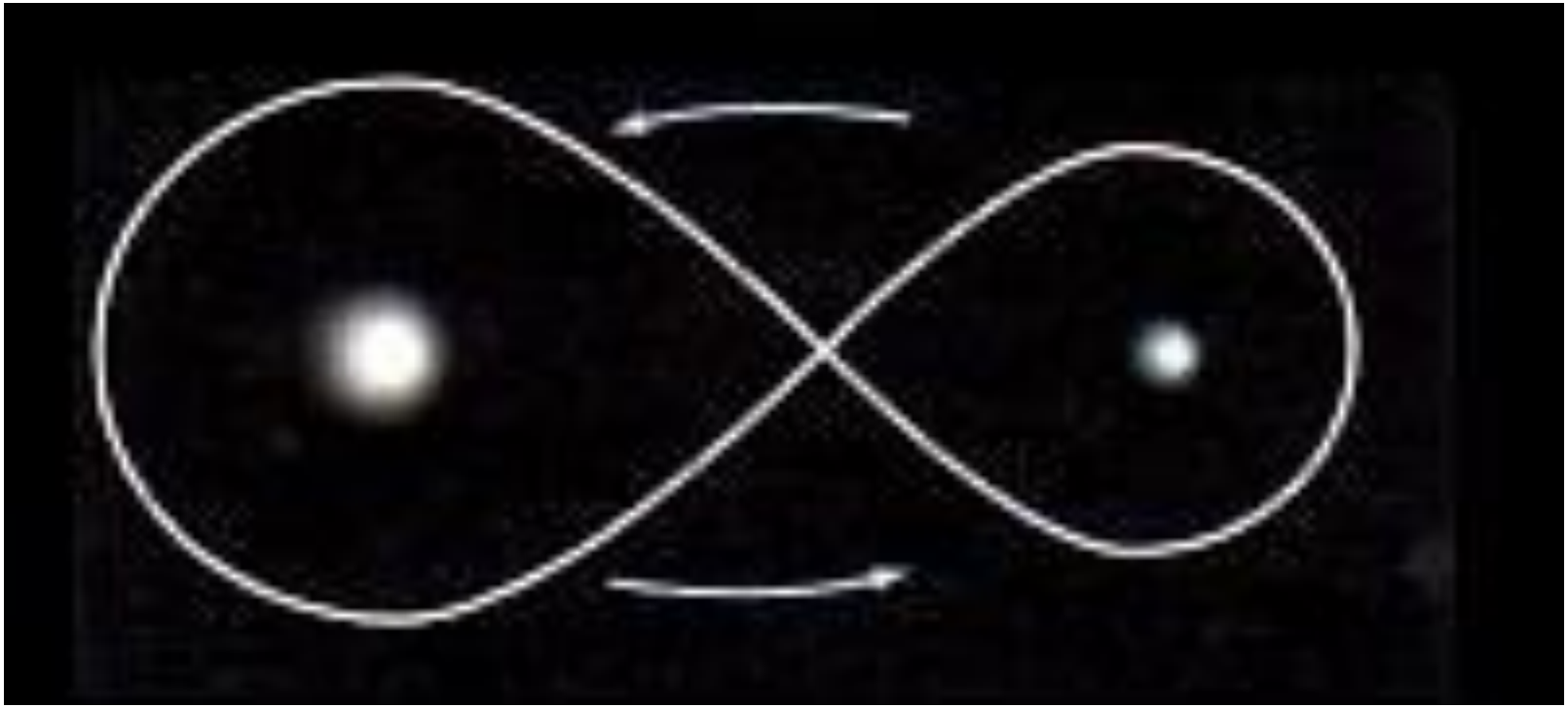
Если звезды достаточно удалены друг от друга и угловая скорость обращения вокруг центра масс не очень велика, то форма звезд практически не отличается от **сферической**.

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.

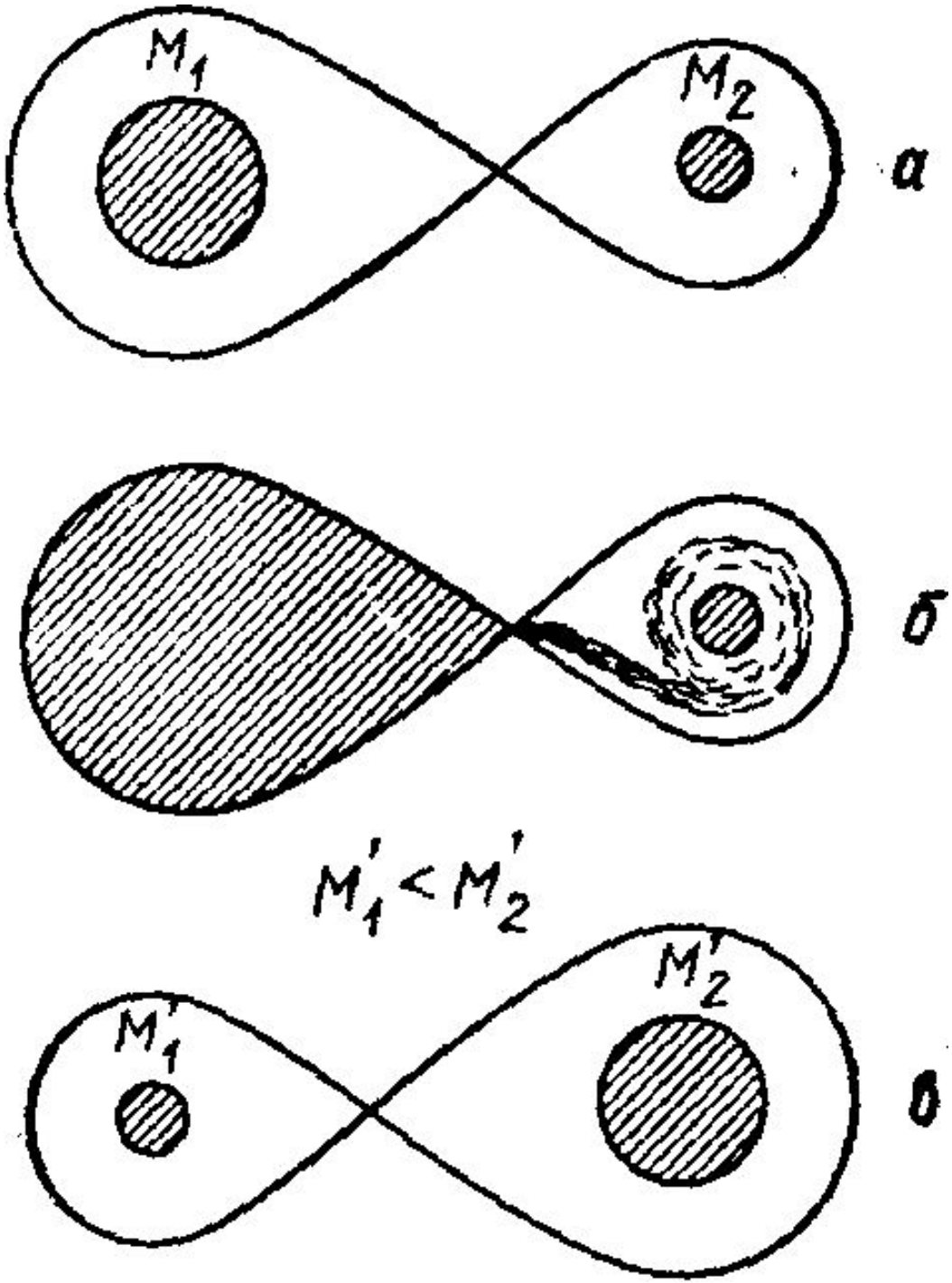


Массообмен между компонентами звездной пары

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**.



Массообмен
через
внутреннюю точку
Лагранжа

с формированием
аккреционного
диска

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.

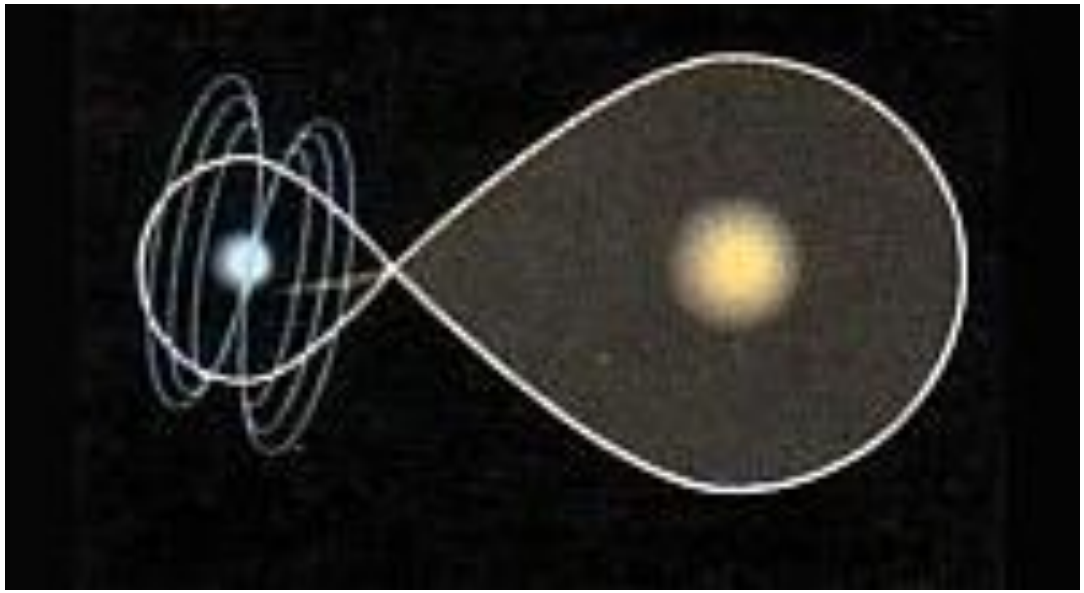
Возможен случай, когда масса **второй звезды** (на которую перетекает вещество) приобретает массу на порядок больше **первой**, но при этом еще будет принадлежать **главной последовательности**.

***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 массобмен** (обратное перетекание вещества со второй звезды на первую).