



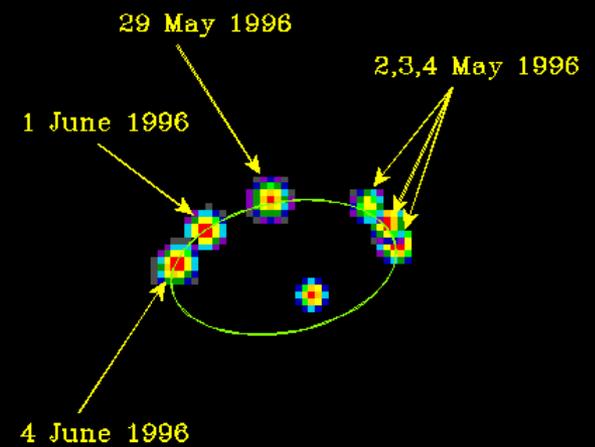
# Двойные звезды

Zeta Ursae Majoris (Mizar)

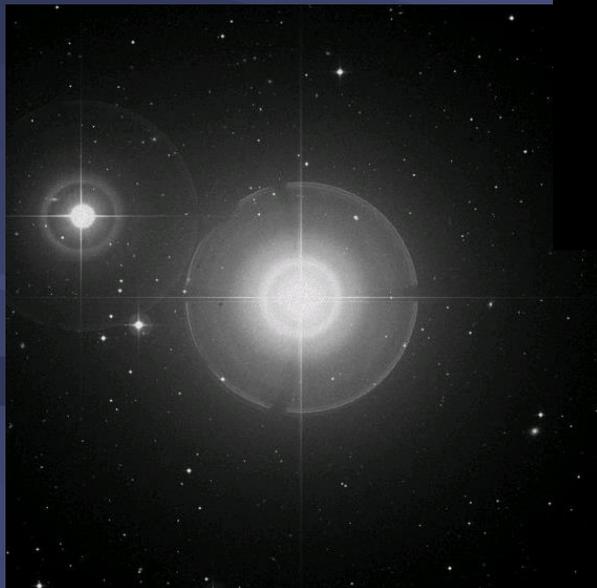


(C) D. Nash

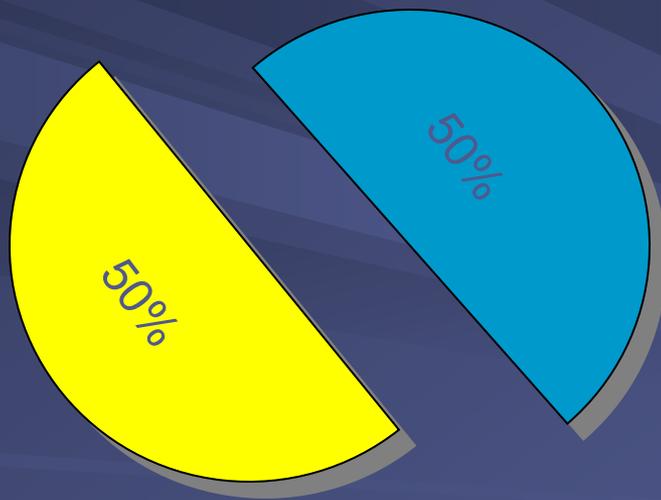
Мицар – пара из  
двух двойных



Мицар А



# Доля двойных звезд



Примерно половина звезд  
входит в двойные и кратные.

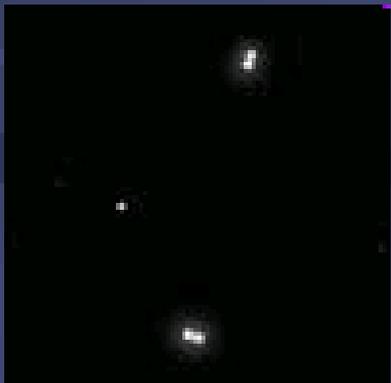
Среди массивных –  
эта доля выше.

Среди маломассивных – меньше.

# Красивые двойные звезды

Есть немало красивых двойных,  
видимых уже в небольшой телескоп.

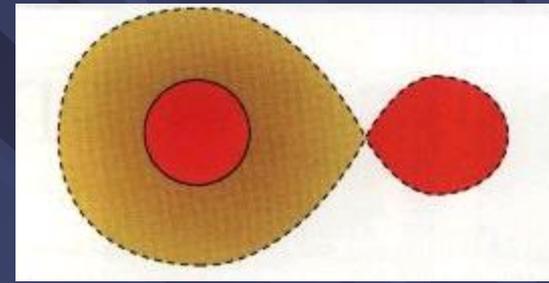
Обычно, это звезды с разными цветами.



... или вот такая  
экзотика, как четверная  
эпсилон Лиры.

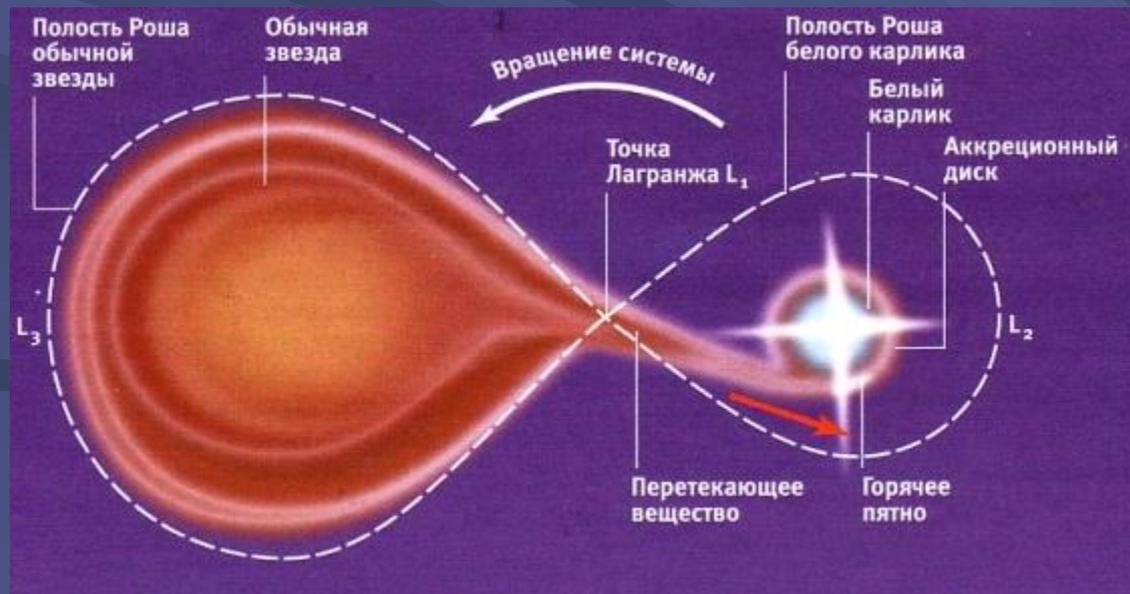
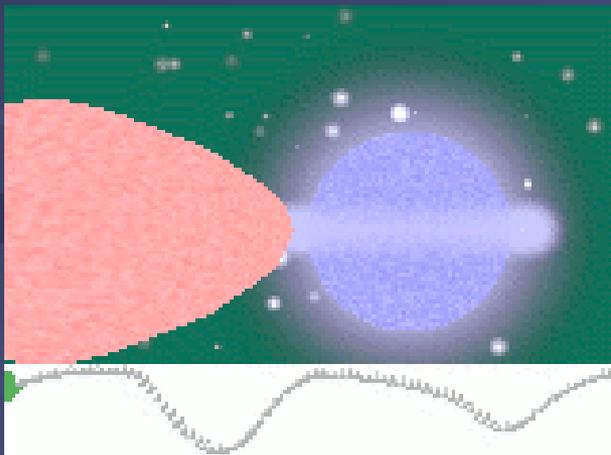


Альбирео

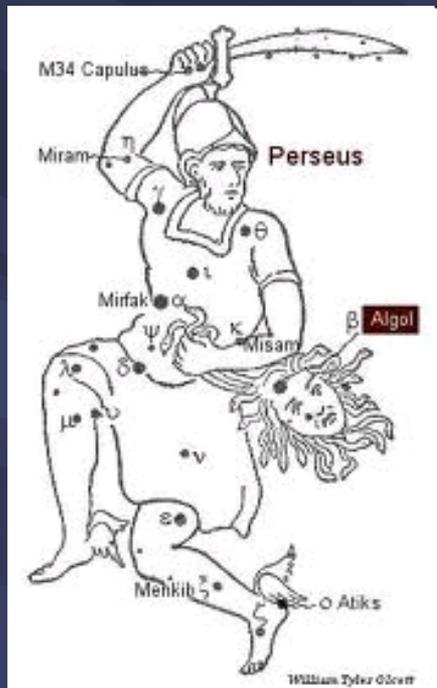


# Обмен масс в двойной

В двойной системе звезды могут обмениваться веществом, т.е. меняется масса звезд.

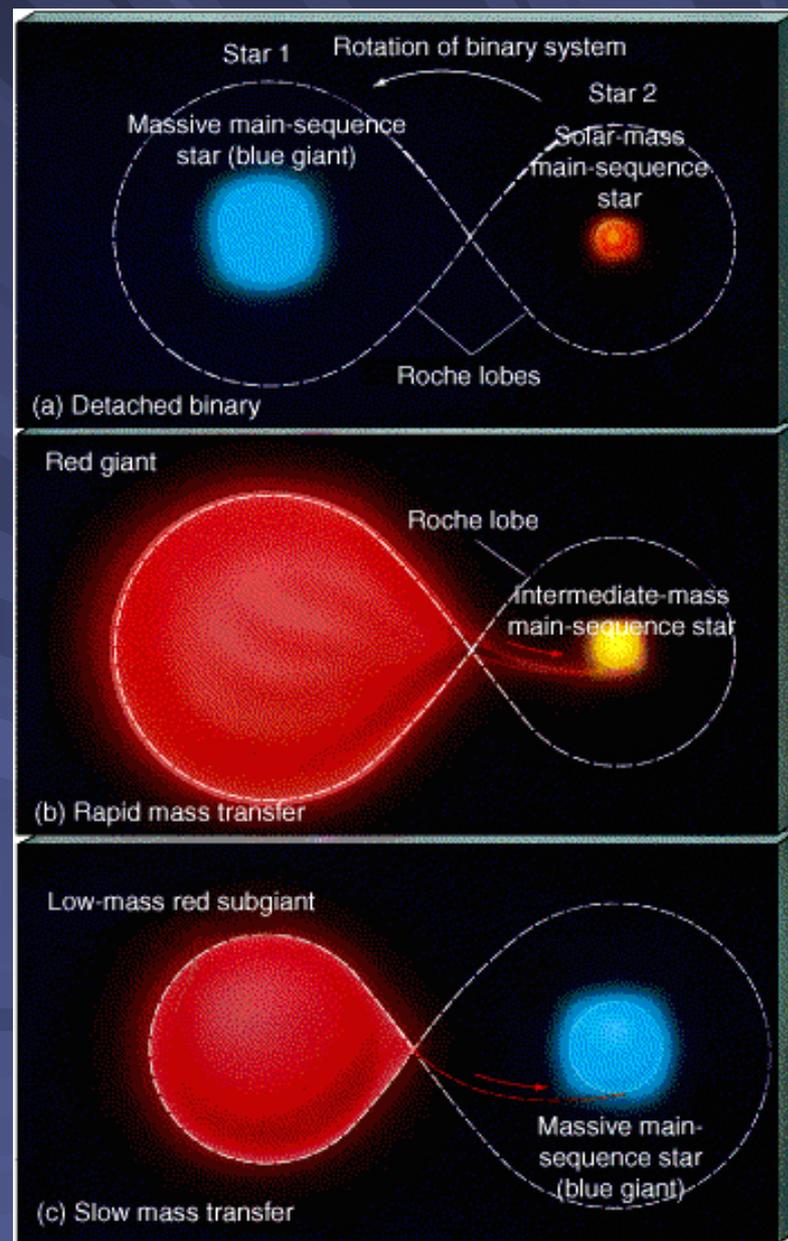


# Парадокс Алголя

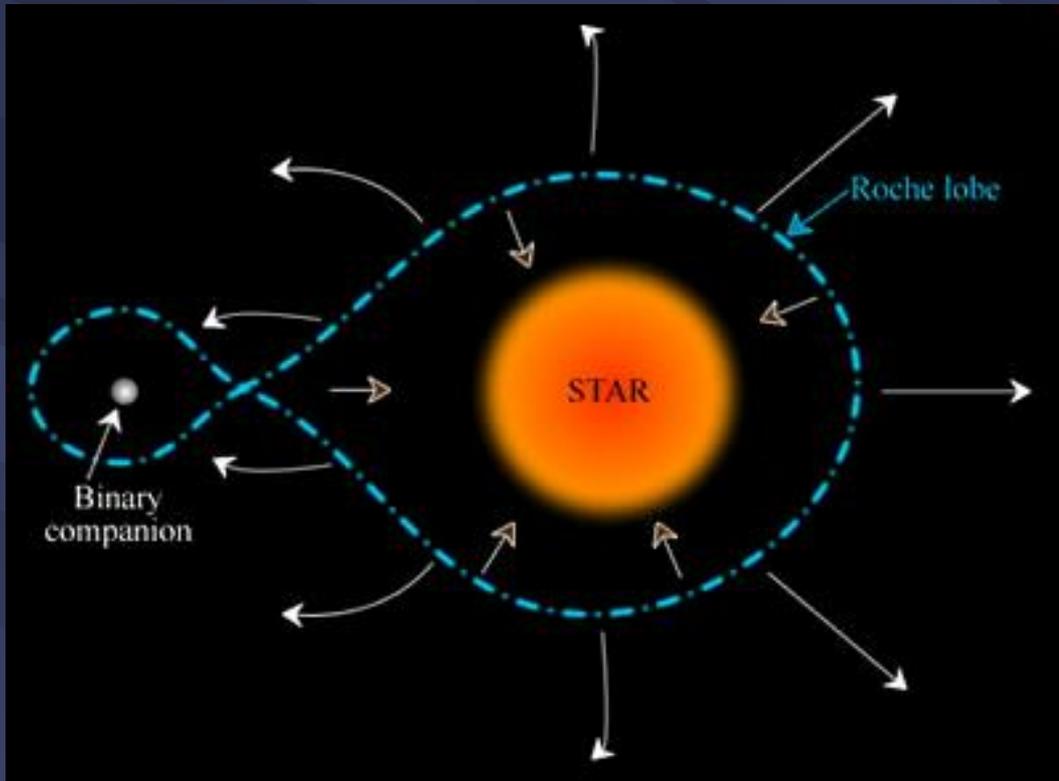


В середине XX века наблюдения показали, что в системе Алголя менее массивная звезда выглядит более проэволюционировавшей.

Объяснить это удалось только с привлечение обмена масс.



# Гелиевые белые карлики



Белые карлики образуются из ядер звезд.  
Но только достаточно массивные звезды успели проэволюционировать.  
Такие звезды дают углеродно-кислородные белые карлики.  
Но мы видим и гелиевые.

Как же они образовались?

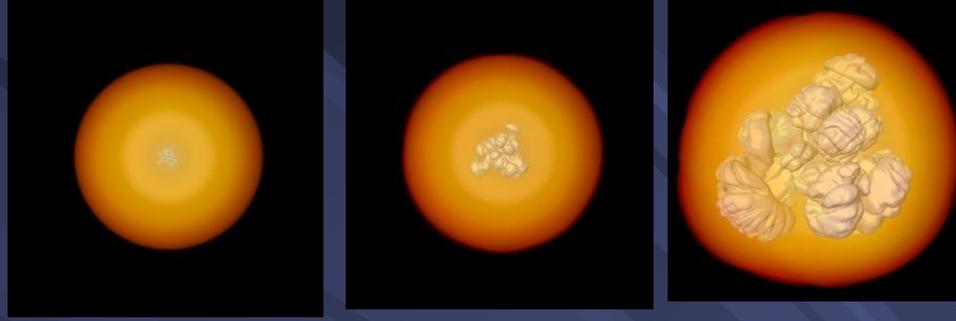
# Сверхновые типа Ia



Существует предельная масса белого карлика

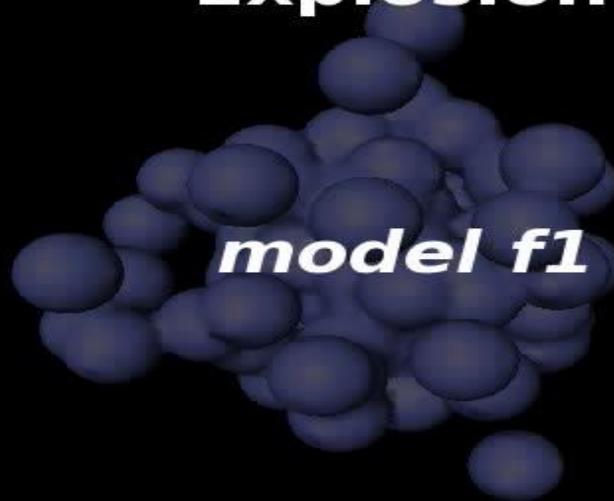
Взрываются не только умирающие массивные звезды.

Если на белый карлик в двойной системе  
натечет слишком много вещества,  
то произойдет взрыв.



# Взрыв белого карлика

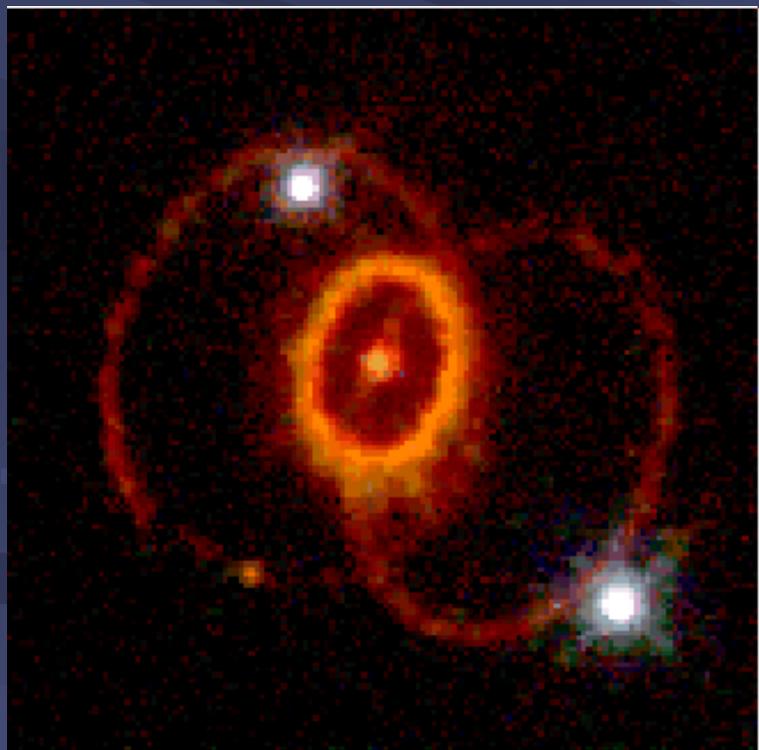
## Thermonuclear Supernova Explosion



(c) Friedrich Röpke, MPA, 2004

# Сверхновая 1987А

Удивительная структура оболочек сверхновой 1987А может быть связана с двойственностью звезды-прародителя.

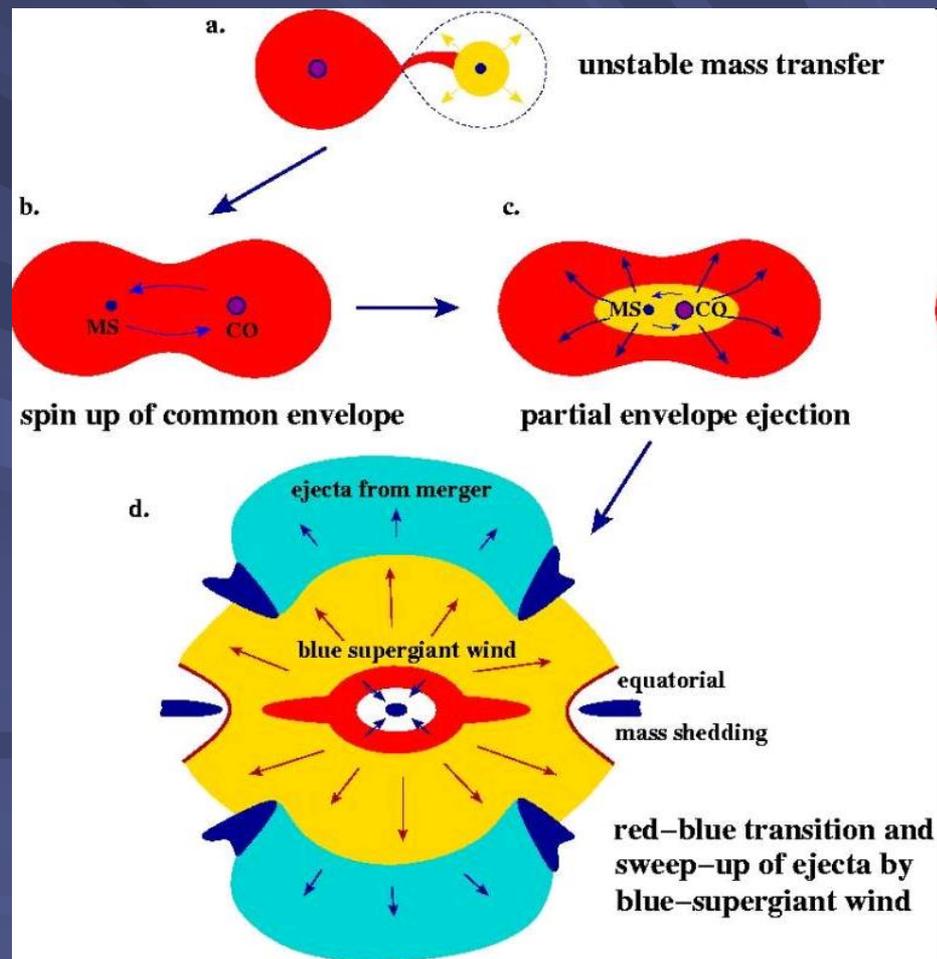
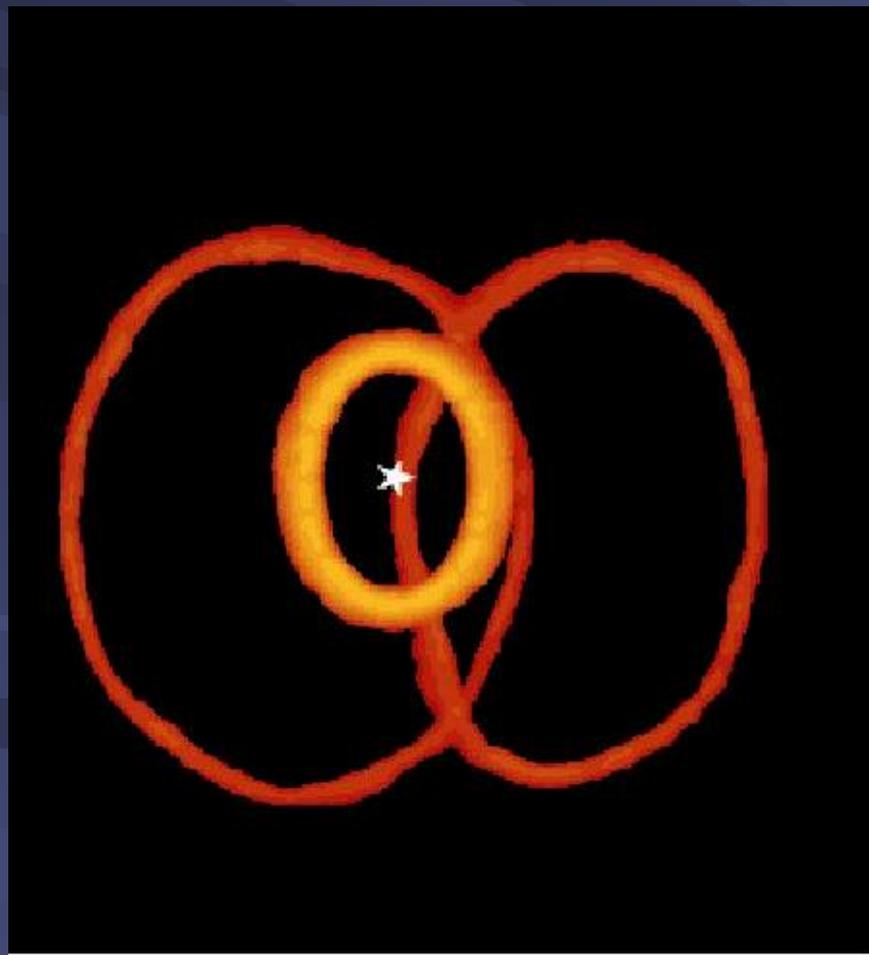


Реальное изображение



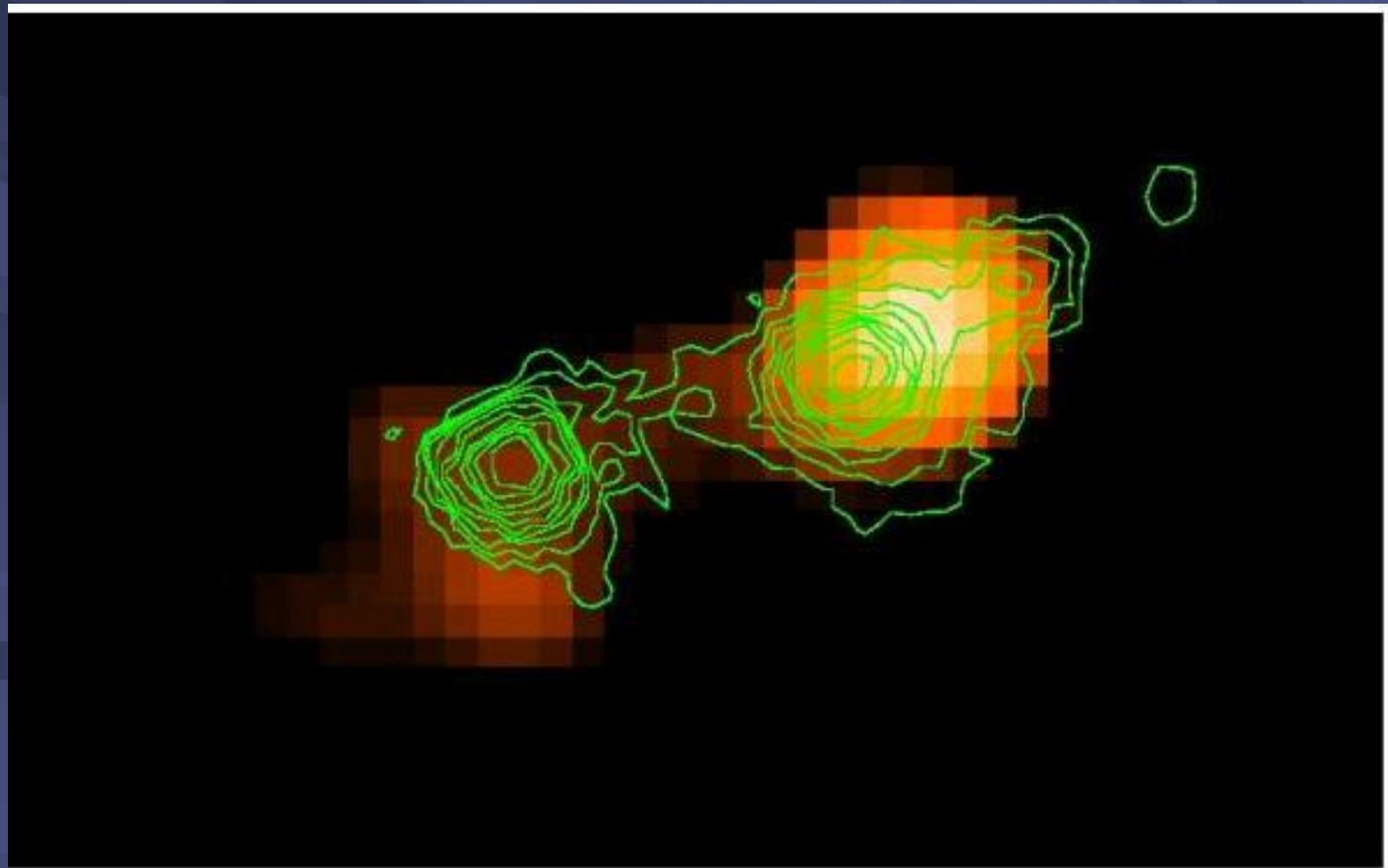
Теоретическая модель

# Модель сверхновой 1987А



# Изображения двойных звезд

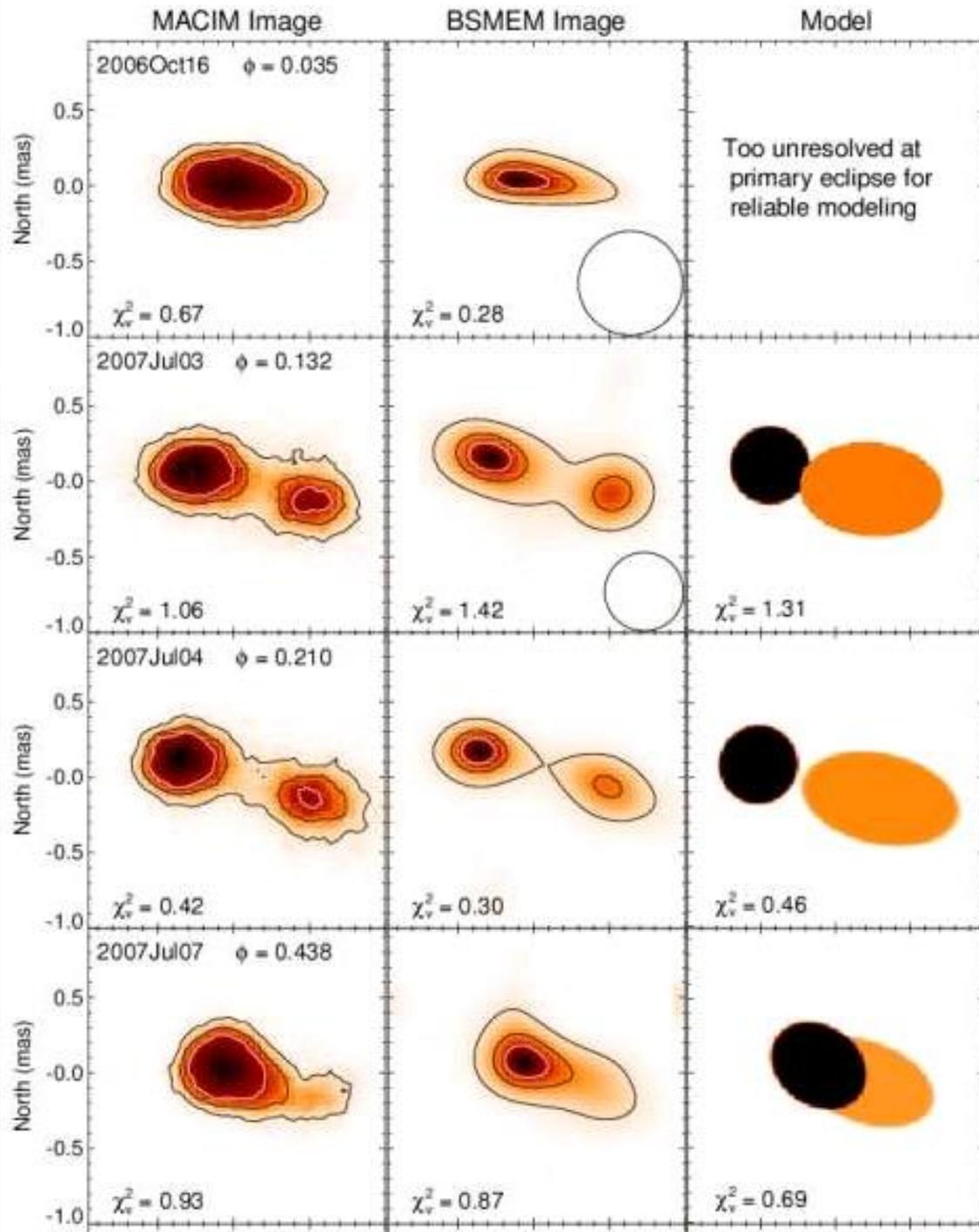
Мира  
(омикрон Кита)  
в рентгене и оптике:  
белый карлик и  
красный гигант



# Изображ



Интерферометр  
CHARA

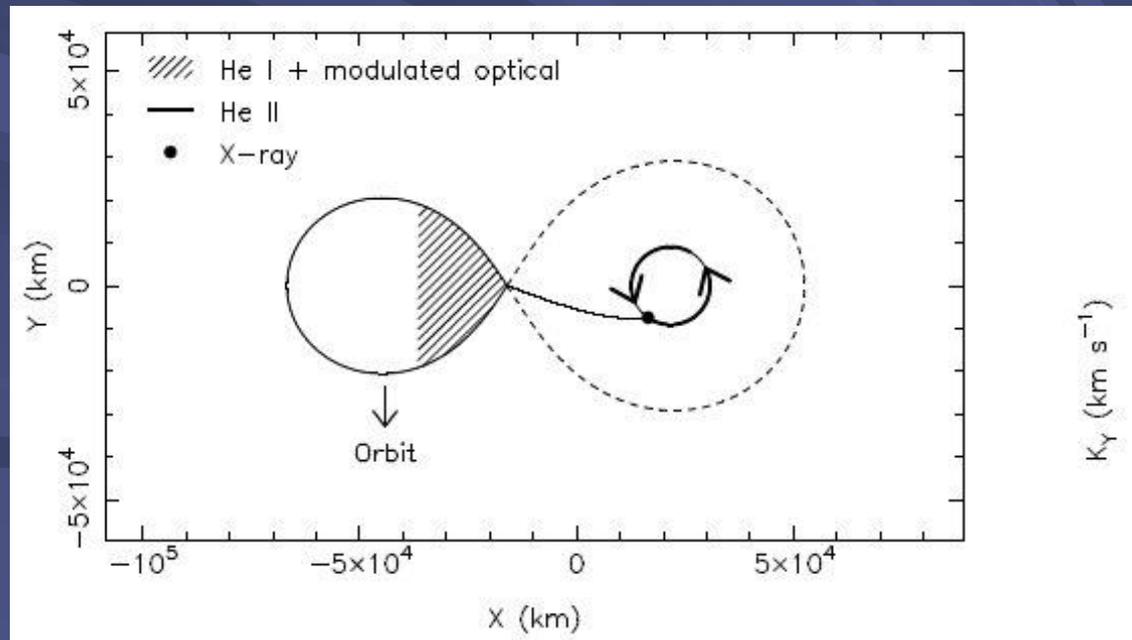


# Самая тесная двойная



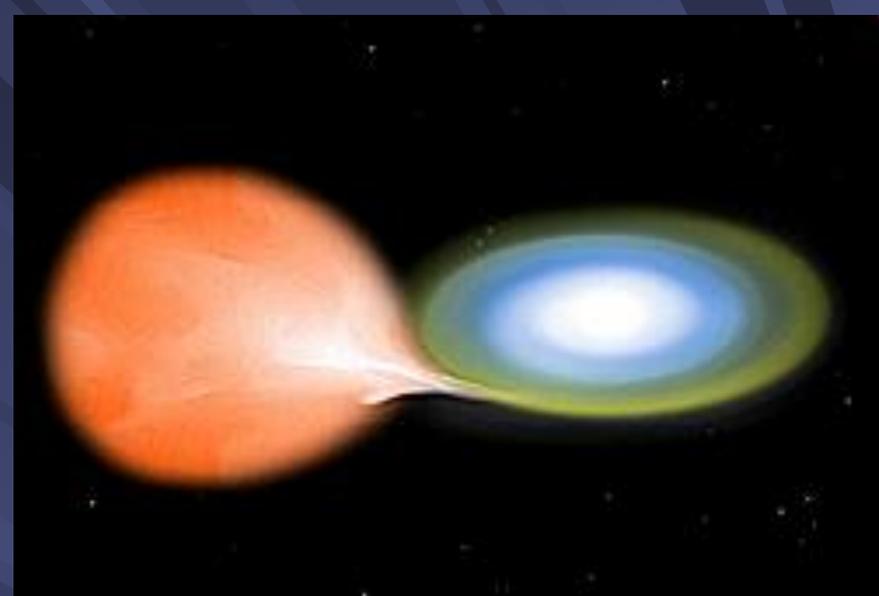
HM Cancri

Двойная система из двух белых карликов.  
Период системы всего лишь 321 секунда!  
Расстояние между звездами: менее 100 тыс. км.  
Орбитальная скорость более миллиона км/час!  
Массы 0.27 и 0.55 солнечных.  
Излучение гравитационных волн .

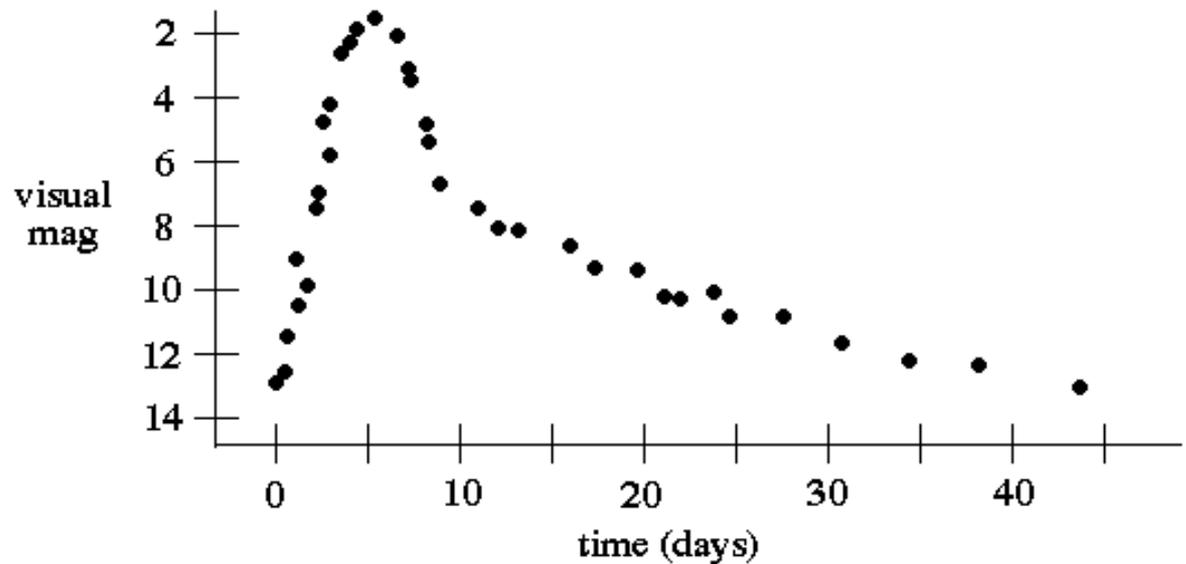


# НОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

Водород, перетекая на белый карлик с обычной звезды, накапливается, пока не начинаются термоядерные реакции.



Nova Light Curve





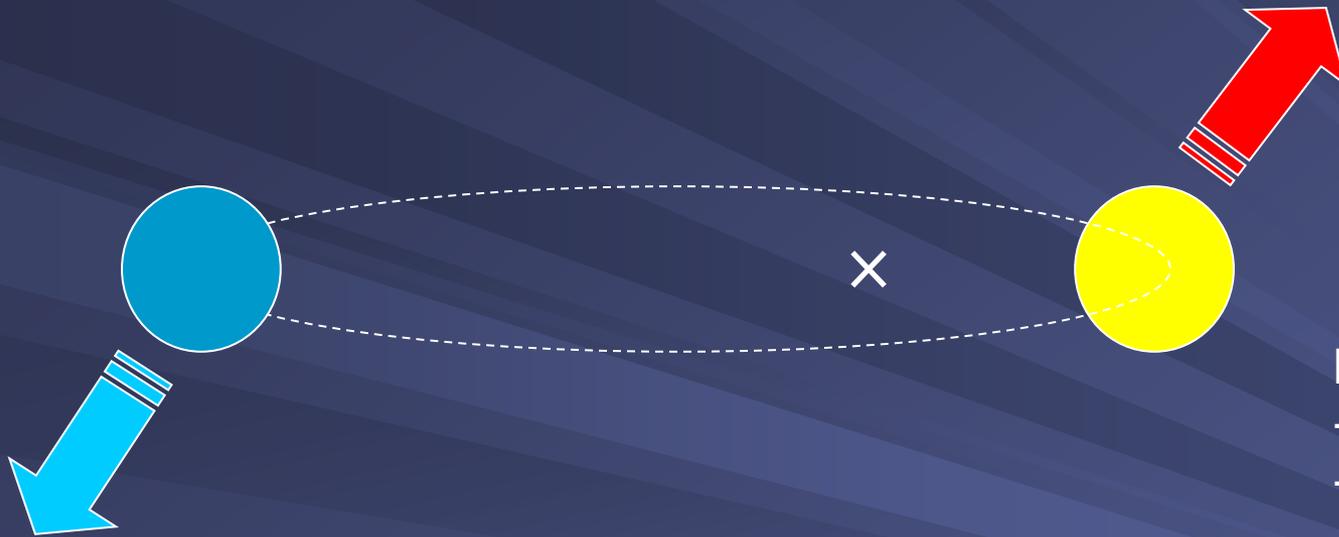
# Планетарные туманности



Формы некоторых планетарных туманностей могут определяться двойственностью центральных звезд.

Биполярная структура может возникать из-за последствий взаимодействия звезд.

# Измерение масс



Измеряем:  
- период вращения  
- скорости звезд

Тогда можем найти  
массы, если знаем  
наклон орбиты

Непосредственное измерение масс звезд  
возможно только в двойных системах.

# Функция масс

$$v_2 = \frac{v_1 m_1}{m_2}$$

$$v_1 + v_2 = v_1 \left( 1 + \frac{v_2}{v_1} \right)$$

$$v_1 + v_2 = v_1 \left( 1 + \frac{m_1}{m_2} \right)$$

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

$$m_1 + m_2 = \frac{P (v_1 + v_2)^3}{2\pi G \sin^3 i}$$

$$m_1 + m_2 = \frac{P}{2\pi G \sin^3 i} \left[ \frac{v_{1r} (m_1 + m_2)}{m_2} \right]^3$$

$$\frac{P v_{1r}^3}{2\pi G} = \frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2}$$

$$\frac{P v_{1r}^3}{2\pi G} = \frac{m_2^3 (\sin i)^3}{m_2^2 (1+q)^2}$$

где  $q = m_1/m_2$

$$P v_{1r}^3$$

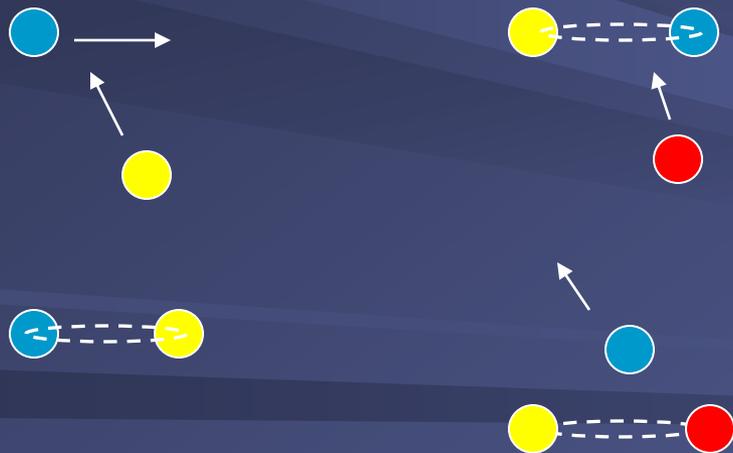
Обозначим  $f(m) = \frac{P v_{1r}^3}{2\pi G}$

Тогда  $m_2 = f(m) (1+q)^2 / (\sin i)^3$

Функция масс – нижний предел на  $m_2$

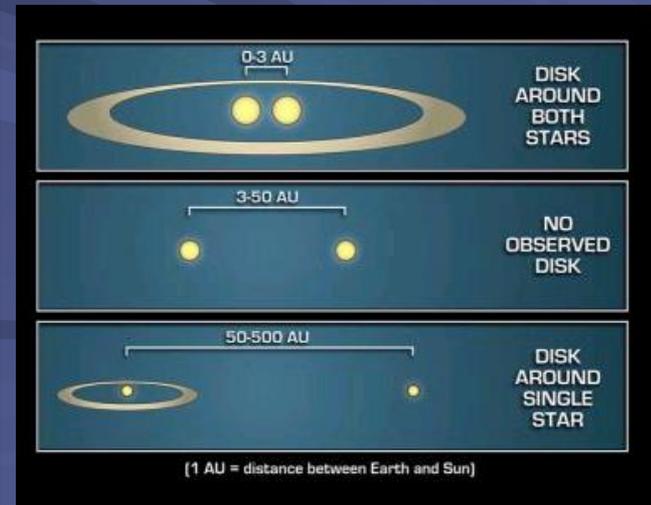
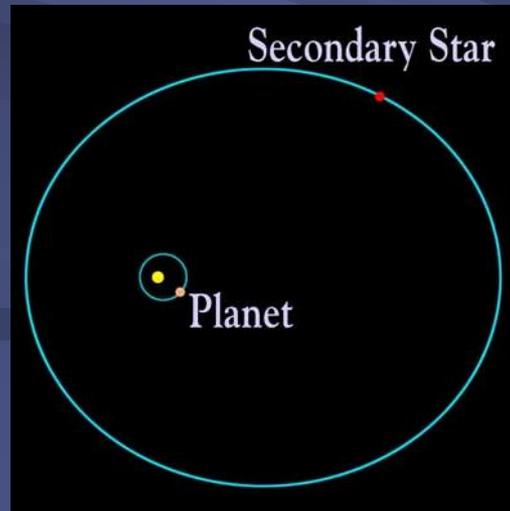
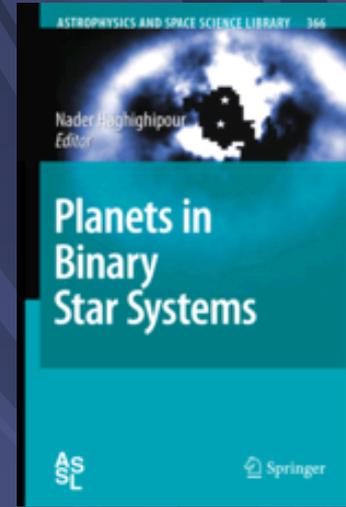
# Родные или сводные

Двойная система может образоваться в результате захвата

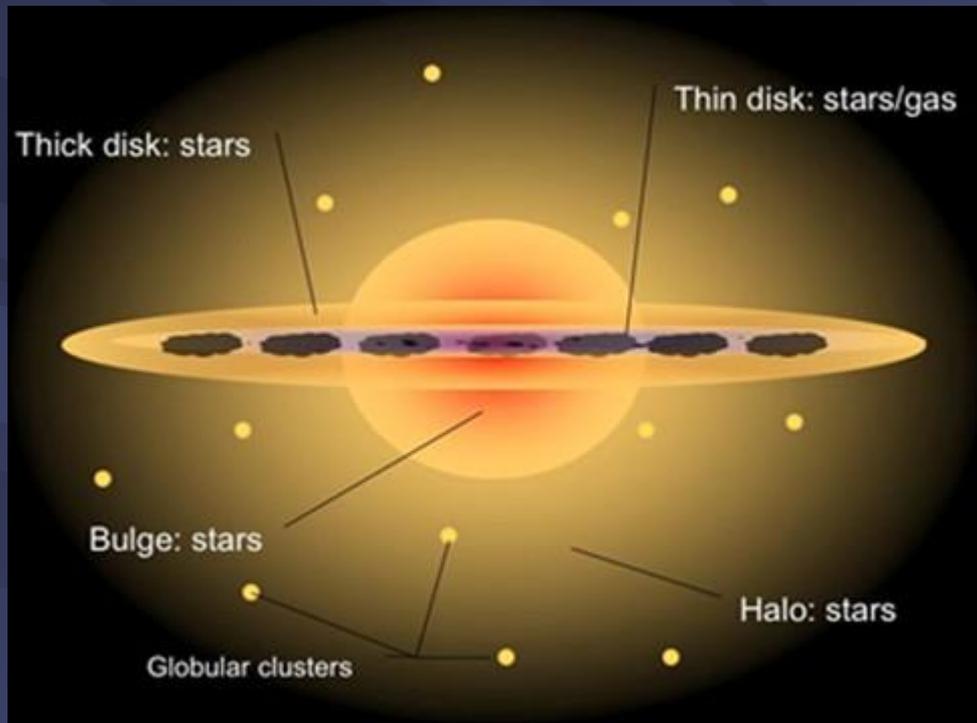


# Планеты в двойных

Известны многие десятки планеты в двойных системах. Обычно расстояние от звезды до планеты намного меньше расстояния между звездами, или же планета вращается вокруг двойной на расстоянии, минимум в несколько раз большим, чем расстояние между звездами.

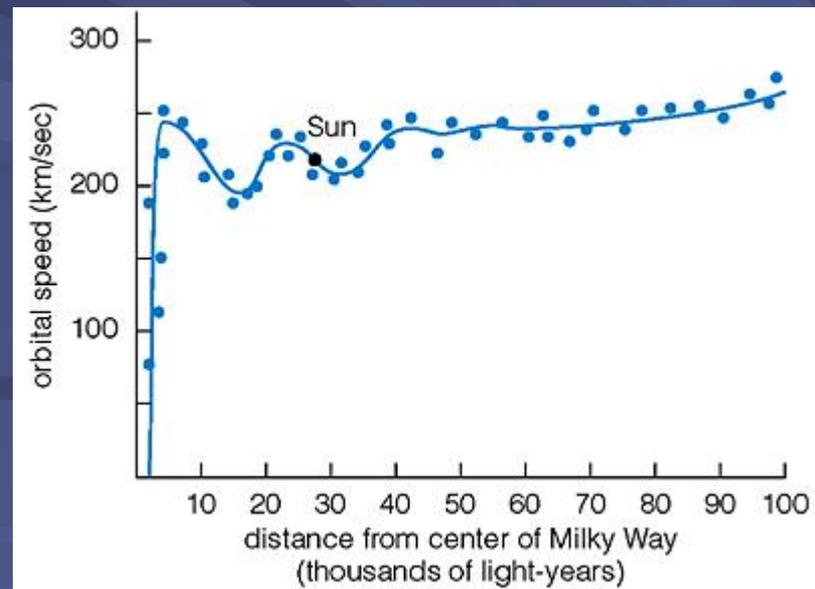


# Скорости звезд в Галактике



Однако звезды диска двигаются друг относительно друга с небольшими скоростями: порядка 30 км/с.

Круговые скорости звезд в Галактике довольно велики -  $>200$  км/с. Это позволяет оценить скорость убегания. С учетом гало она оказывается  $\sim 500$  км/с, и зависит от расстояния от центра.



# Убегающие звезды



Динамическое взаимодействие



Распад двойной системы

Оба варианта приводят к появлению массивных одиночных звезд со скоростями в 2-3 раза выше, чем в среднем.

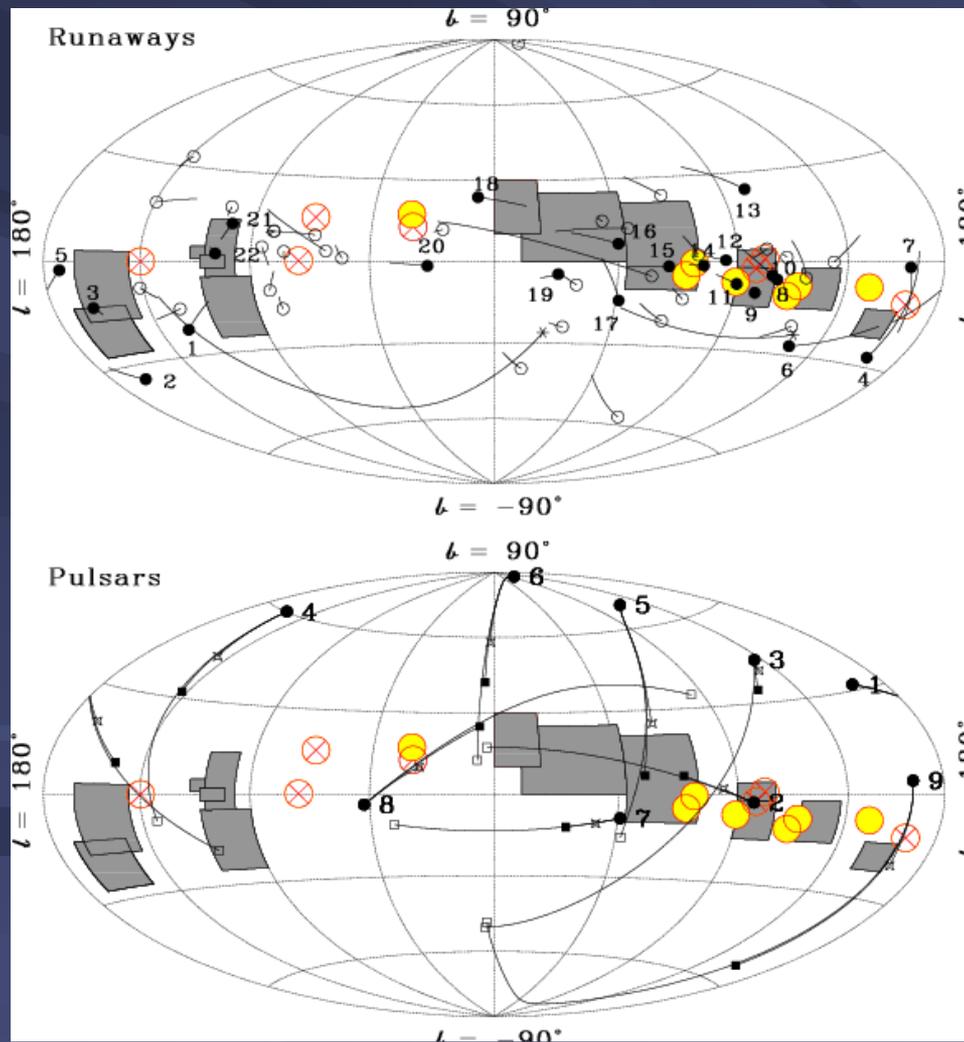
Типичные скорости 50-70 км в сек.

Открыты в 1947 г.

Известно много десятков таких объектов.

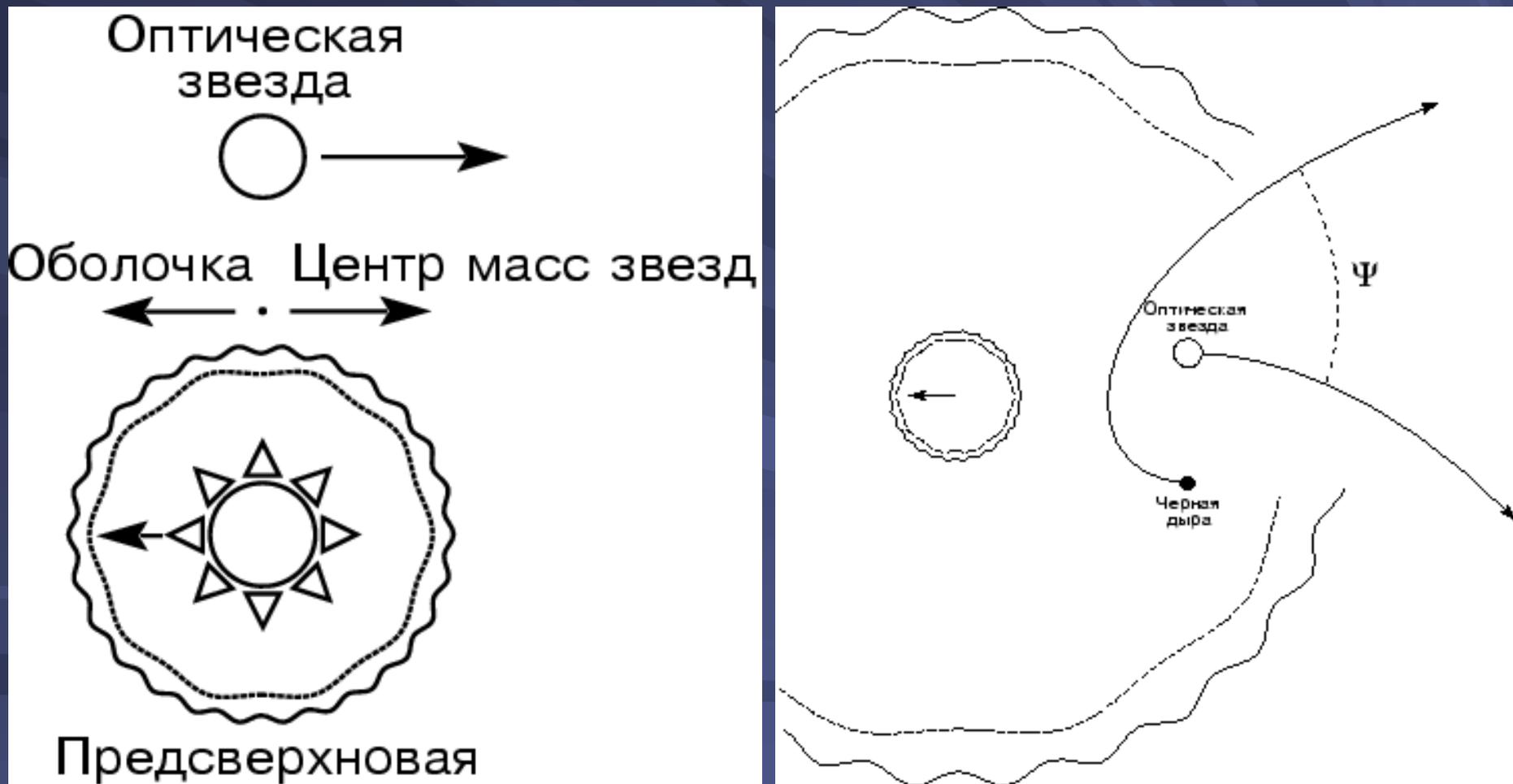
В окрестности Солнца 10-30% звезд класса O и 5-10% звезд класса B относятся к убегающим.

# Материнские скопления убегающих звезд



Можно определить, в каких скоплениях родились убегающие звезды. Также можно найти нейтронные звезды, с которыми связаны убегающие.

# Распад двойной системы



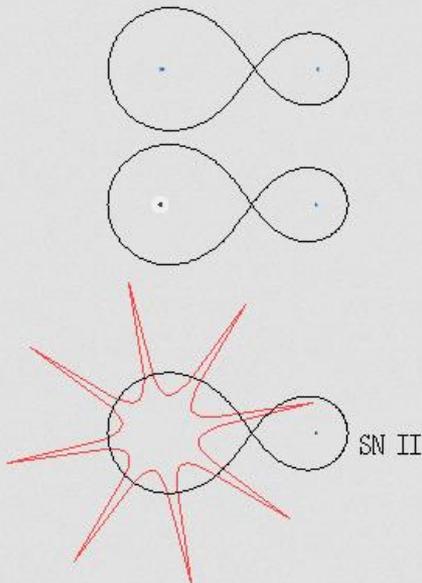
Сброс более половины массы приводит к распаду двойной.  
 Также система может распасться, если после взрыва сверхновой компактный объект получит кик.

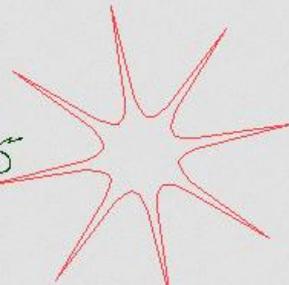
# Разрушение двойной

M1  
 Solar masses

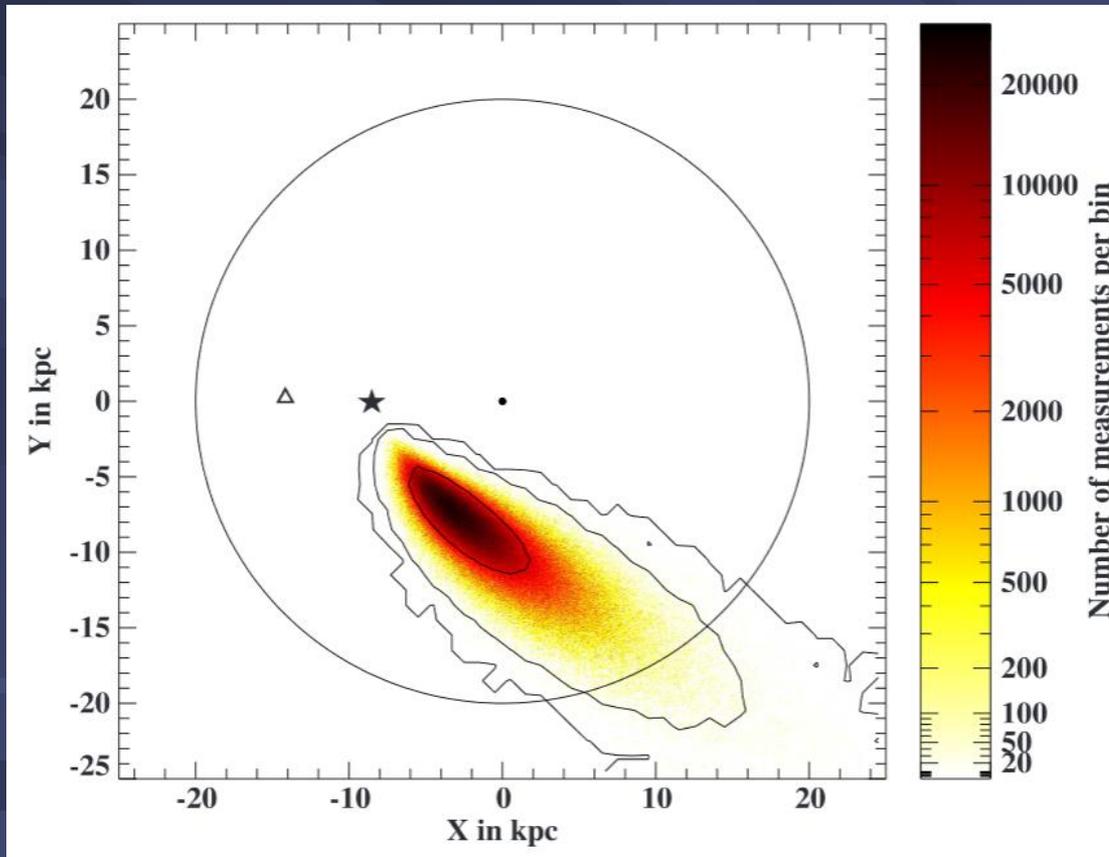
19.00

17.88



1.40	NS "E"			9.89	9.09
1.40	NS "E"			9.72	22.46
	NS "E"				SN II 22.46
1.40	NS "E"			NS "E" 1.40	24.70
1.40	NS "E"			NS "P" 1.40	7193.00
1.40	NS "E"			NS "A" 1.40	9775.00
1.40	NS "P"			NS "A" 1.40	11440.00

# Самая быстрая в Галактике

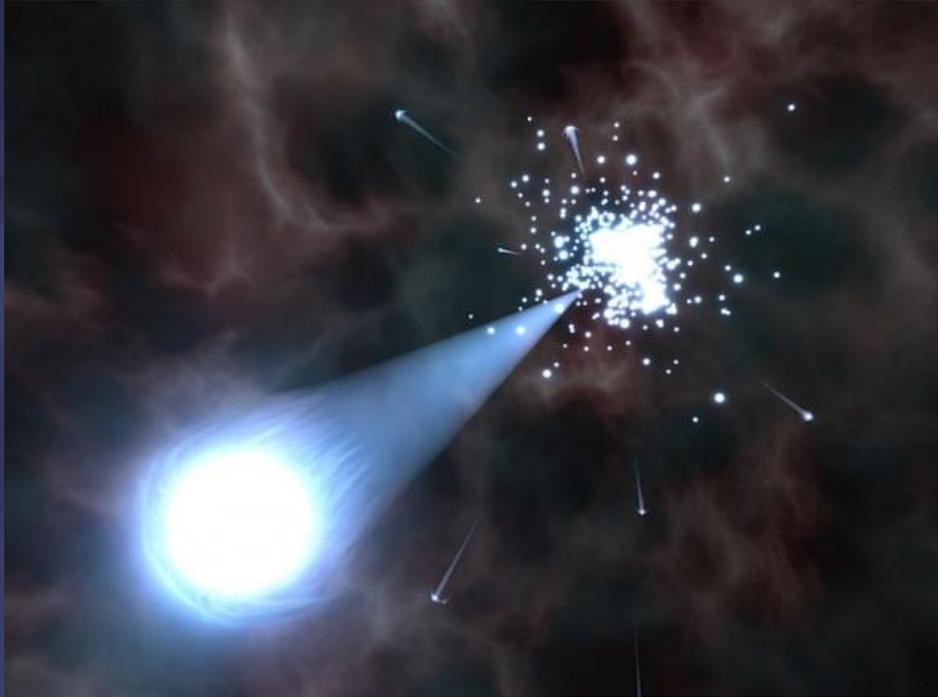


US 708  
1200 км/с

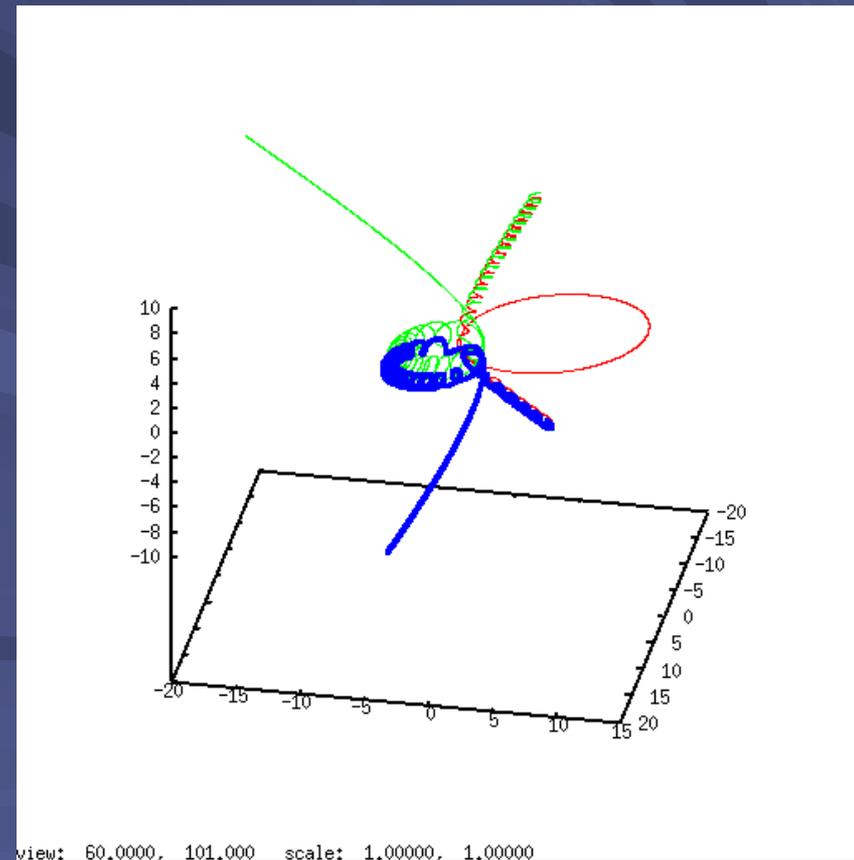
Летит не из центра Галактики.  
Наиболее вероятно,  
что она родилась в двойной  
системе, разрушенной  
взрывом сверхновой.  
Причем, сверхновой Ia!

# Динамическое взаимодействие

Взаимодействие трех или четырех звезд в скоплении может привести к вылету одной из звезд с большой скоростью.

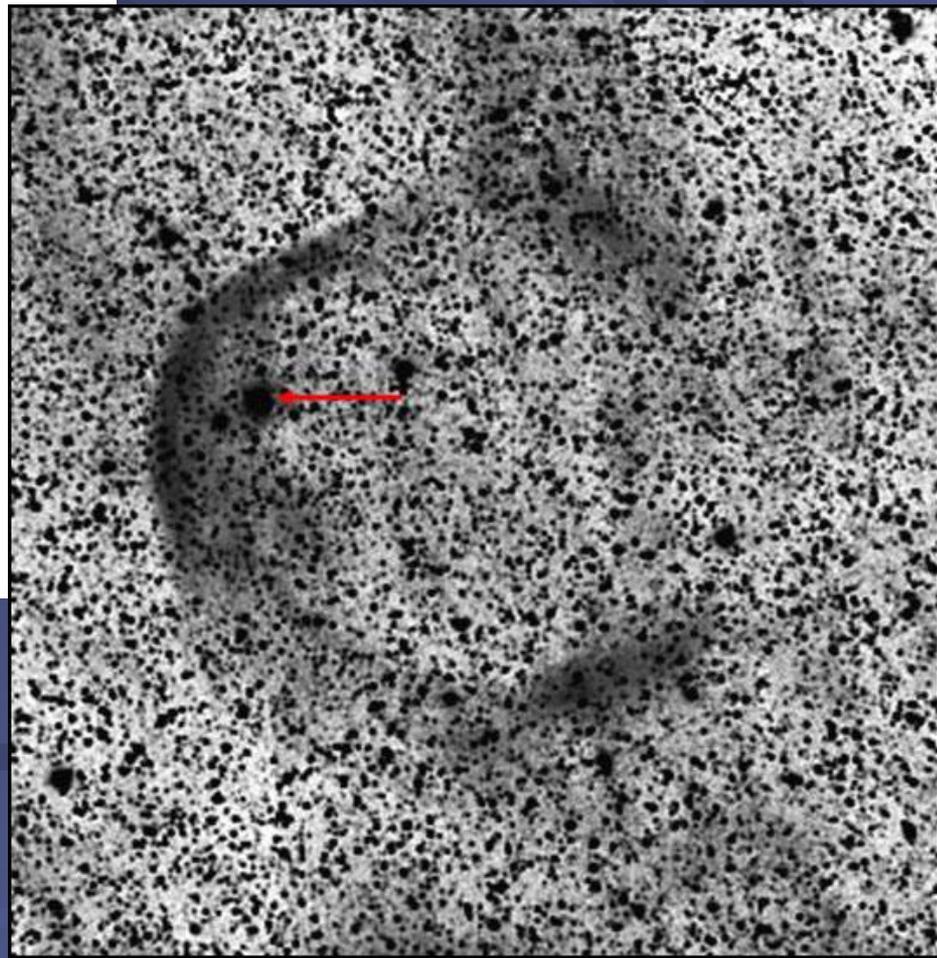
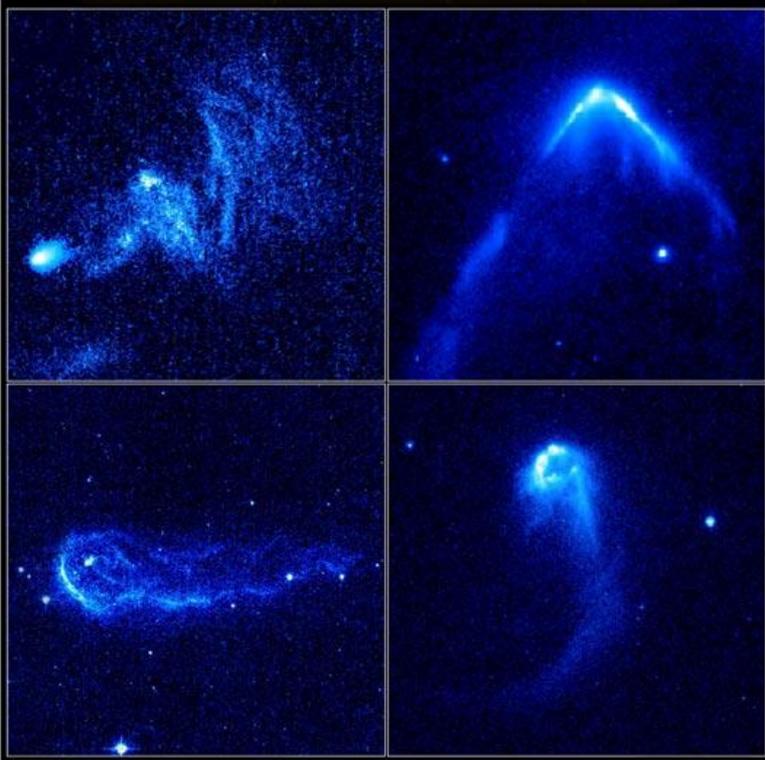


Типичная «добавка» к скорости – десятки км в сек. Но может быть и намного больше:  
 $v_{\max} = (2GM/R)^{1/2}$ , где  $M$  и  $R$  – параметры наиболее массивной звезды, участвующей во взаимодействии.



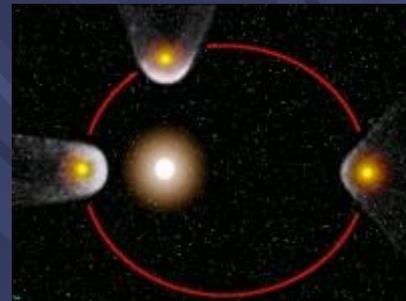
# Взаимодействие с газом среды

Быстродвигающиеся звезды  
приводят к образованию  
ударных волн



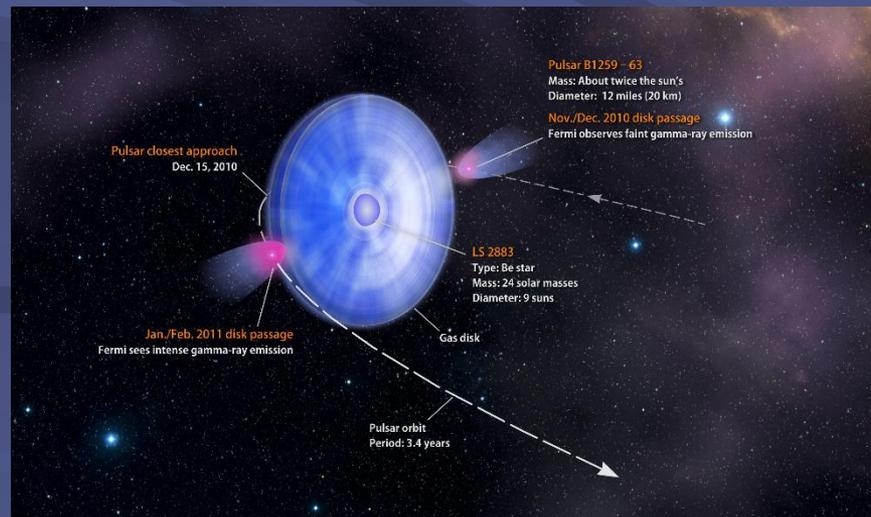
Скорость звука  
в МЗС -  
10 км в сек



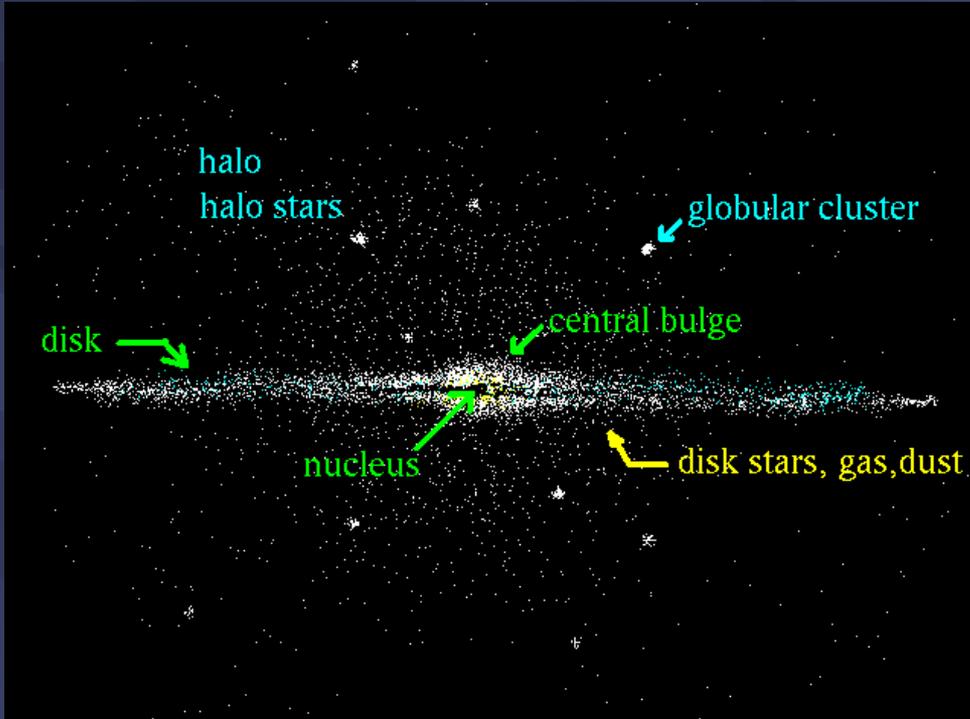


# Столкновение ветров

Столкновение звездных ветров от двух массивных звезд, или от звезды и пульсара, приводит к появлению яркого источника жесткого излучения.



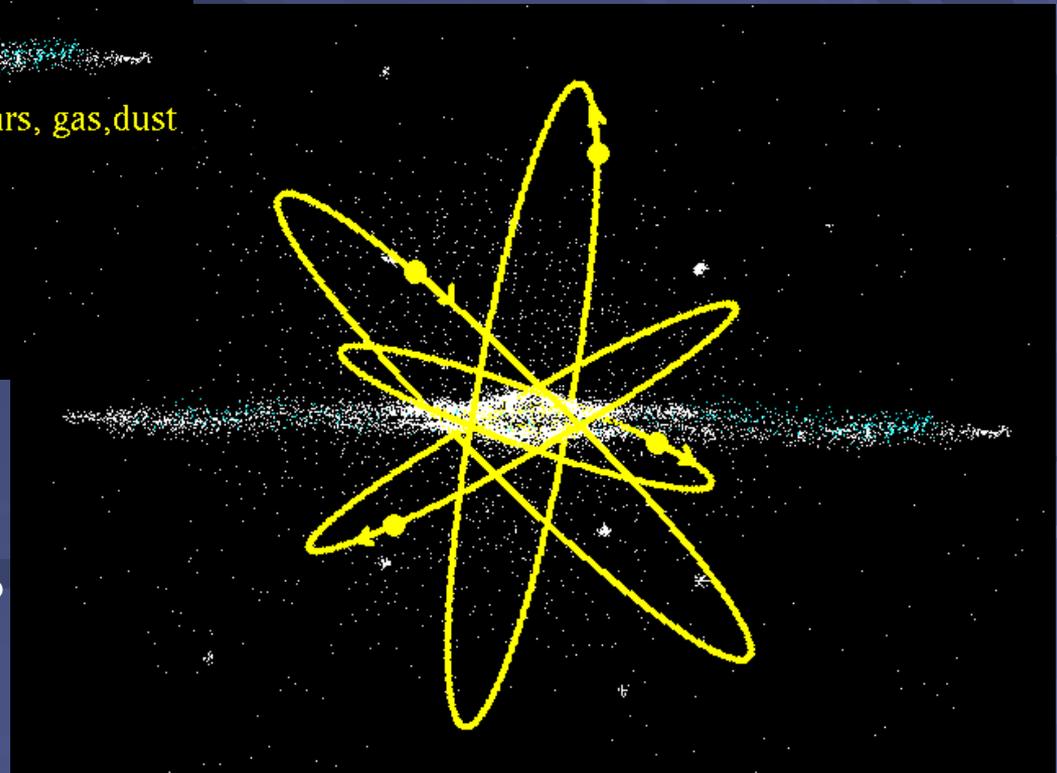
# Звезды гало



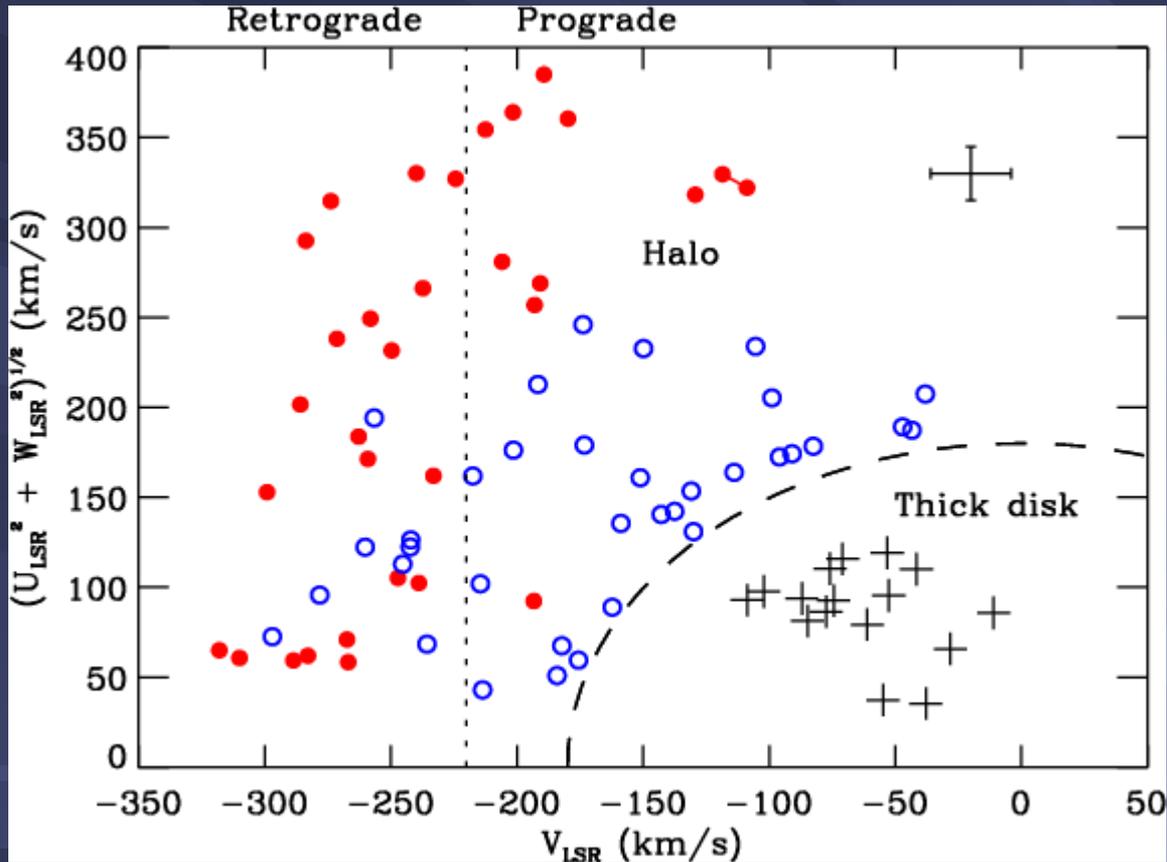
Круговая скорость на орбите Солнца более 200 км в сек.

Но, двигаясь по вытянутым орбитам, звезды гало, пересекая диск, могут иметь скорости даже несколько выше.

В солнечной окрестности звезды гало можно выделить по высокой скорости относительно близких звезд (нас) и по траектории движения.



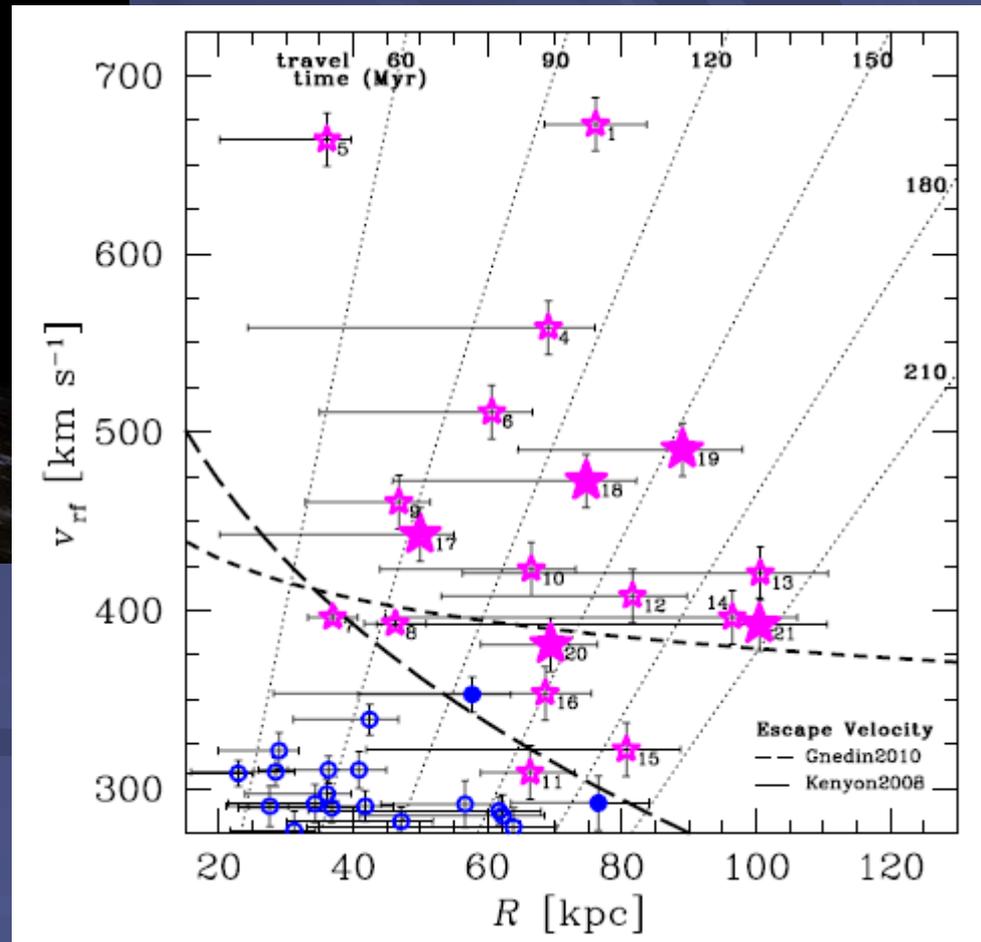
# Свойства звезд гало



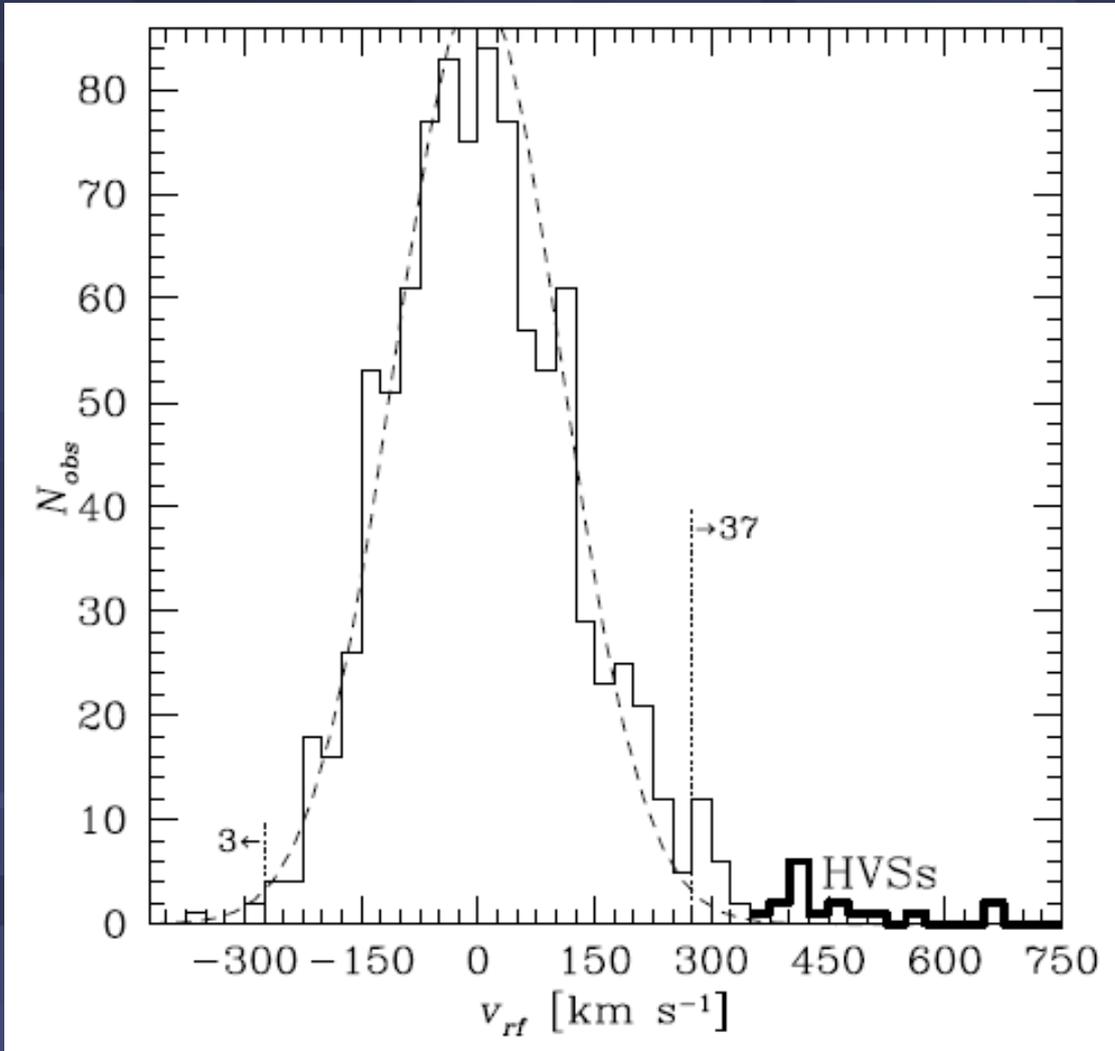
- Старые
- Маломассивные
- Малометаллические

Звезды гало имеют высокие скорости относительно Солнца, т.к. движутся по орбитам другого типа и пересекают галактическую плоскость под большими углами.

# Самые быстрые звезды



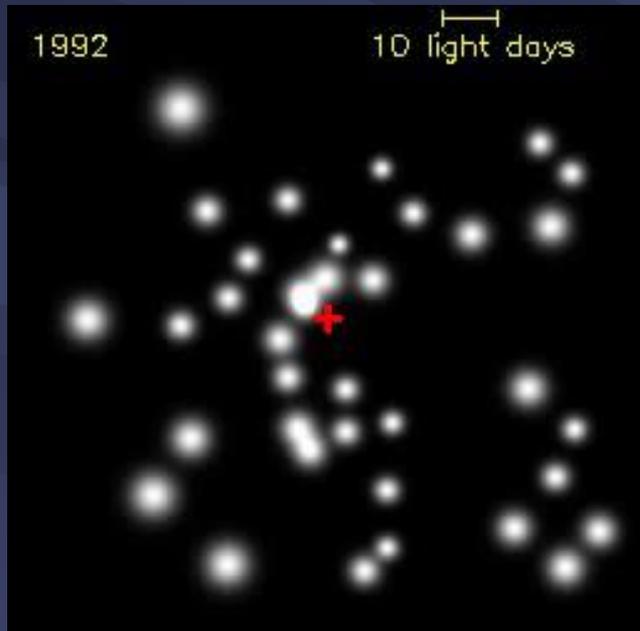
# «Включить гиперджеты!»



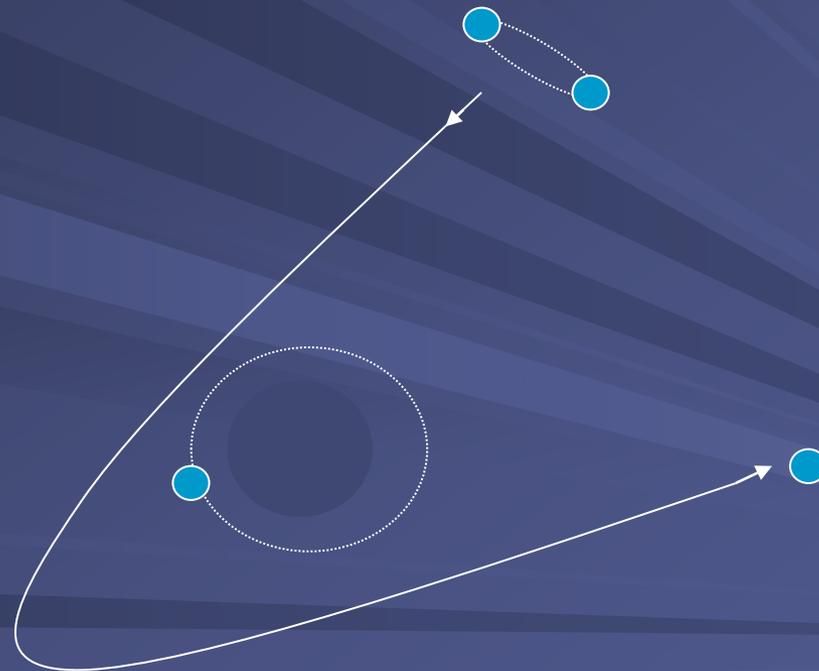
Гиперскоростные звезды.  
Скорости порядка 700 км в сек

Уже гравитационно не связаны с  
нашей Галактикой.

# Черная дыра как «ускоритель»



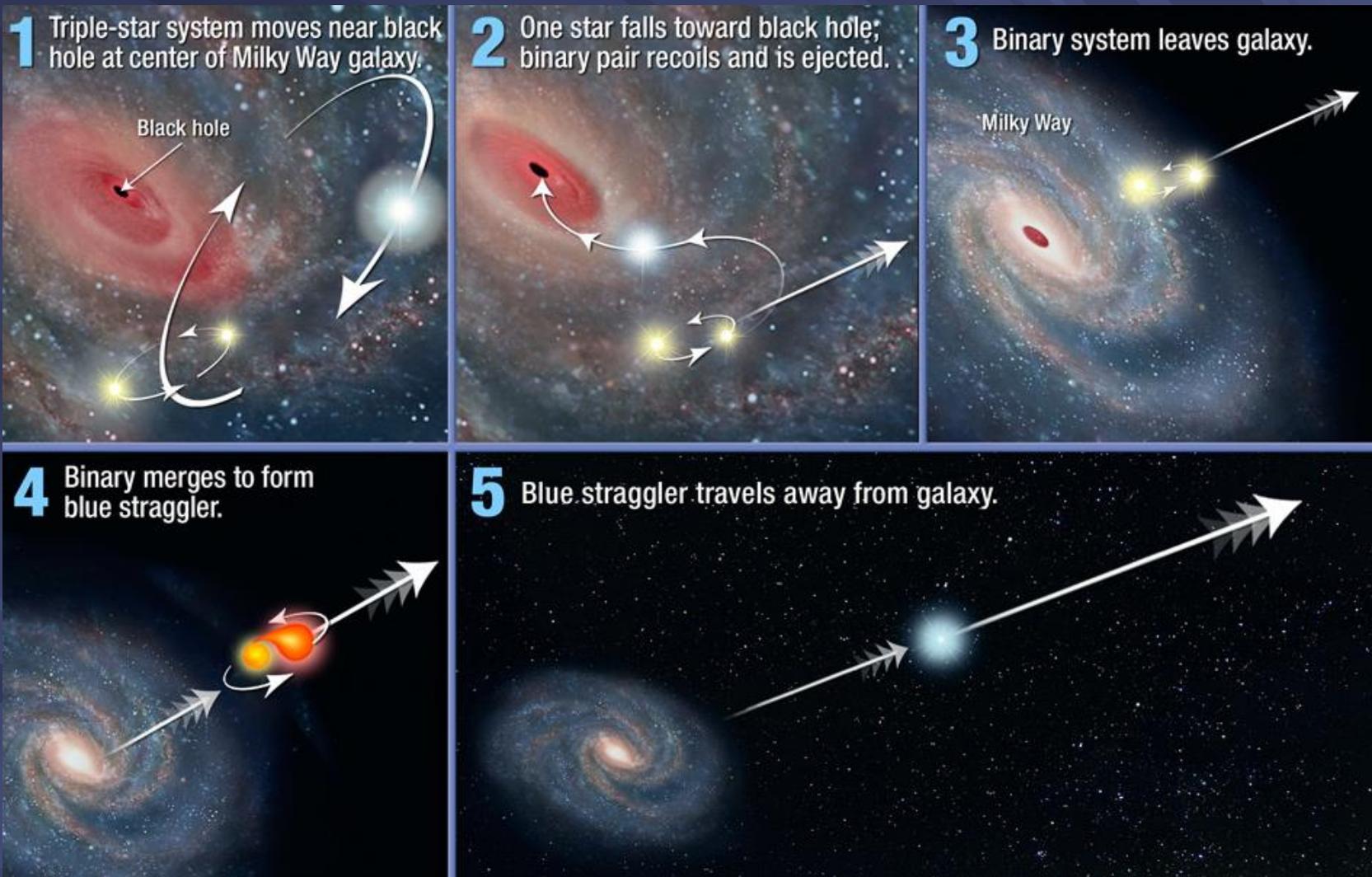
Взаимодействие трех тел



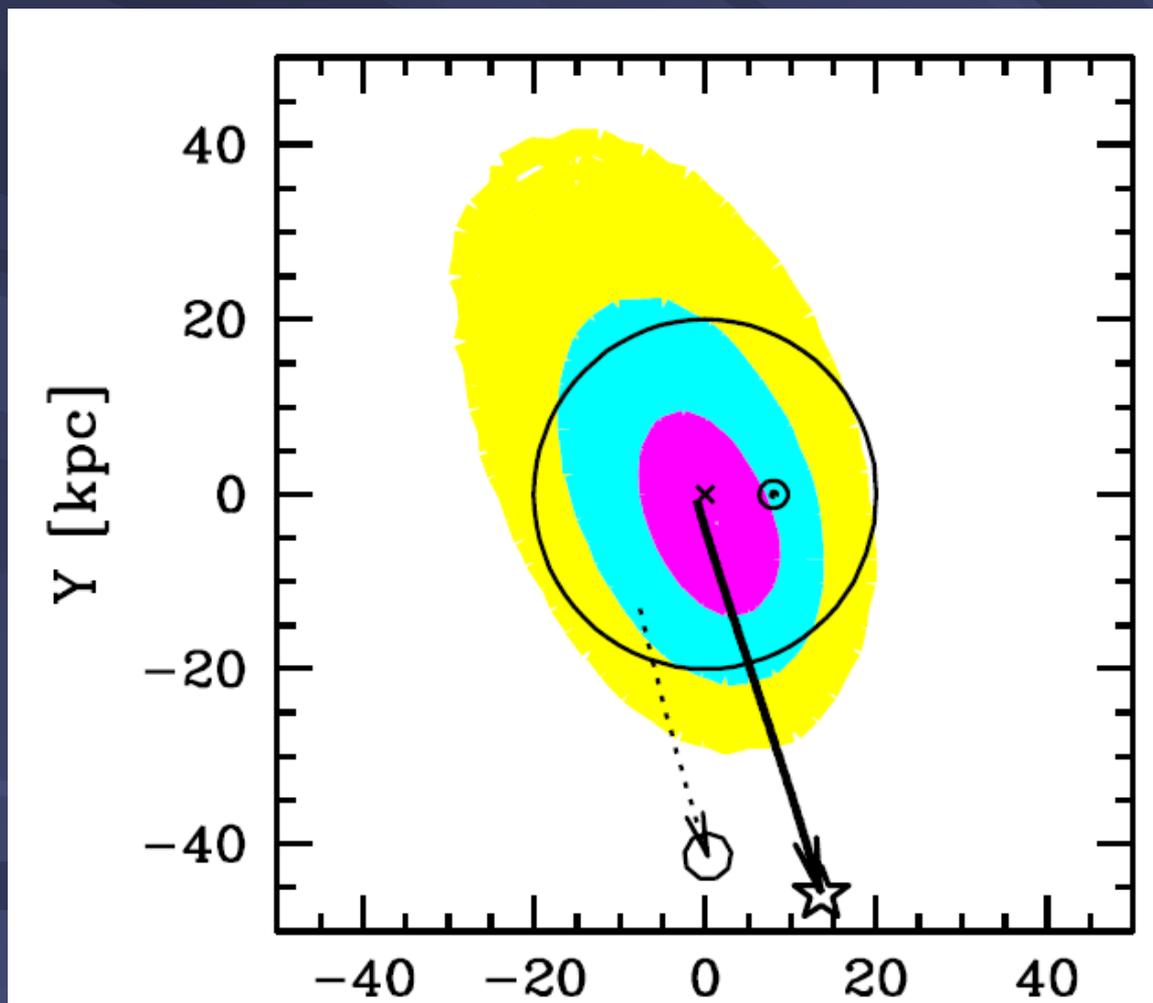
Распад двойной в поле дыры

# Странные путешественники

Голубая звезда вдали от плоскости Галактики



# Полетим в другую галактику?



23 млн лет назад  
звезда пролетела  
в 13 кпк от БМО

См. 2210.10622,  
где описано гипотетическое  
использование  
центральной сверхмассивной  
черной дыры, как  
«ускорителя» для  
межгалактических полетов.

Еще сильнее можно  
разогнаться, если есть  
двойная система из  
сверхмассивных черных дыр.