

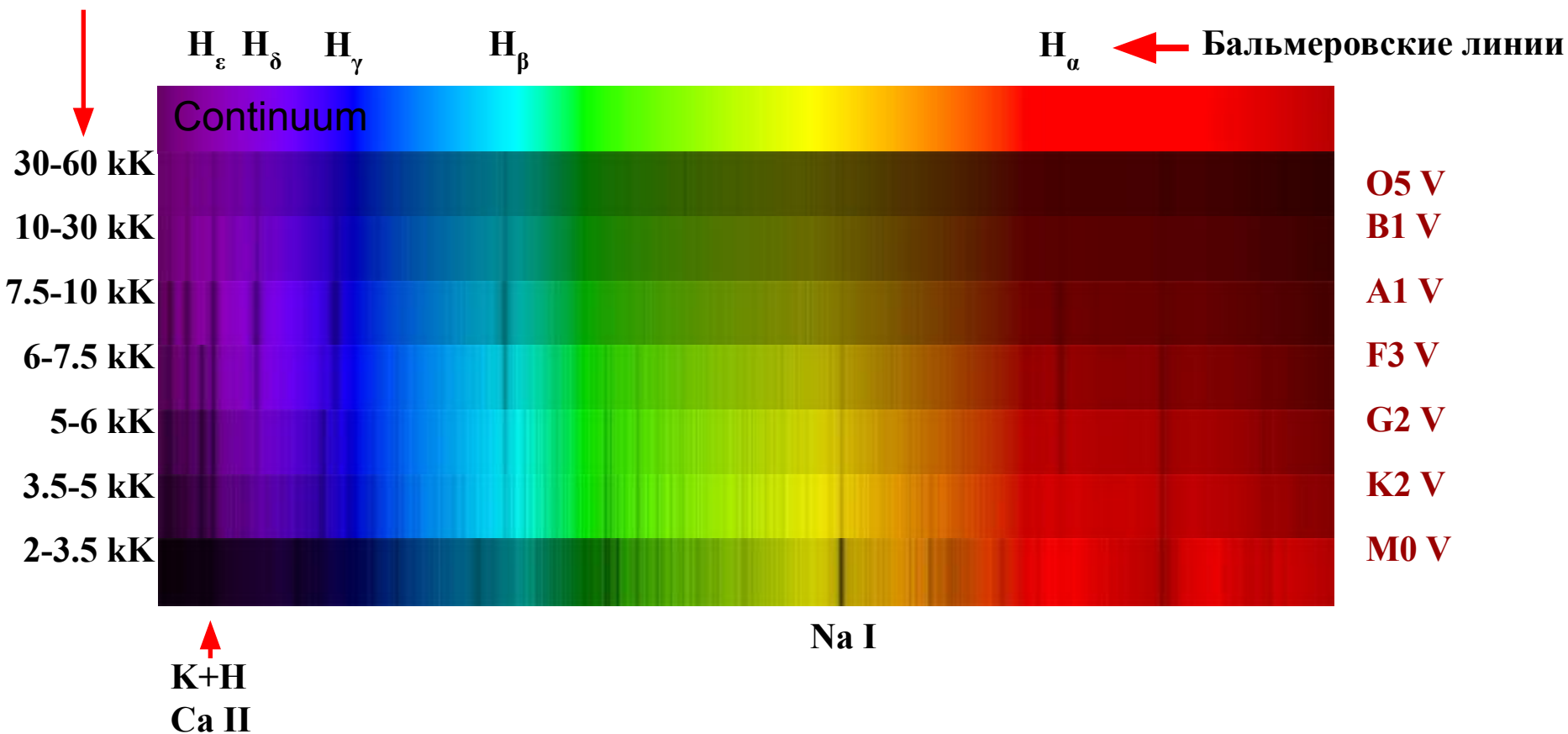
Лекции 5-6

Астрофизика (введение в астрофизику)

1. Понятие о двумерной спектральной классификации звезд
2. Диаграмма «температура-светимость»
3. Двойные звезды: визуальные, спектральные и фотометрические
4. Определение масс двойных звезд. Зависимость «масса-светимость»
5. Особые случаи в тесных двойных системах (ТДС)

Спектральная классификация звезд

T_{eff} kK



Примеры спектров

Спектры звезд: одномерная классификация

Энн Кэннон, Гарвард, 1900-е

Классы: O-B-A-F-G-K-M

- Вдоль последовательности **ПАДАЕТ** T_{eff}
- Классы делятся на 10 подклассов
- Физическое основание – непрерывная зависимость интенсивности спектральных линий разных химических элементов от температуры
- Спектральный класс определяется по отношению пар линий

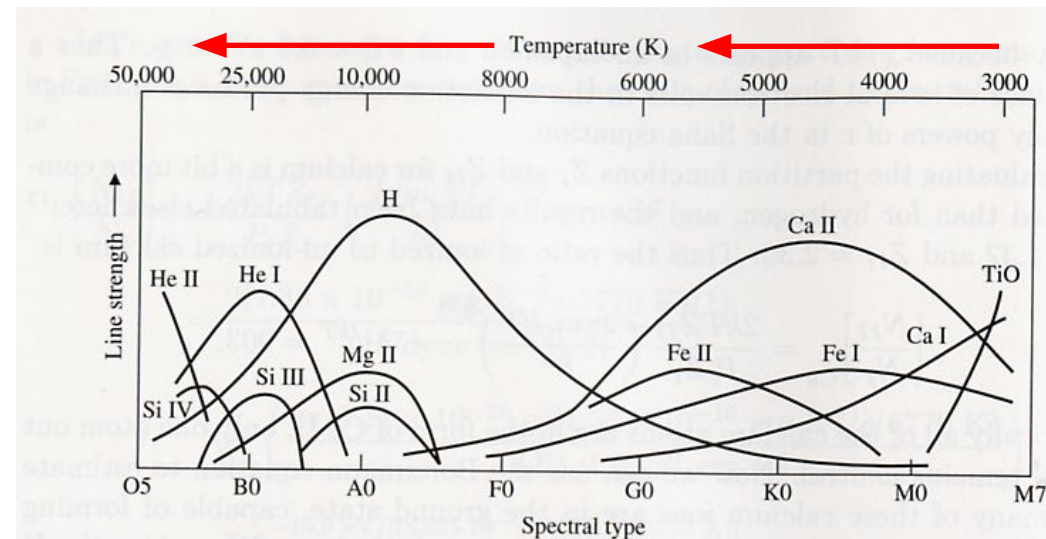
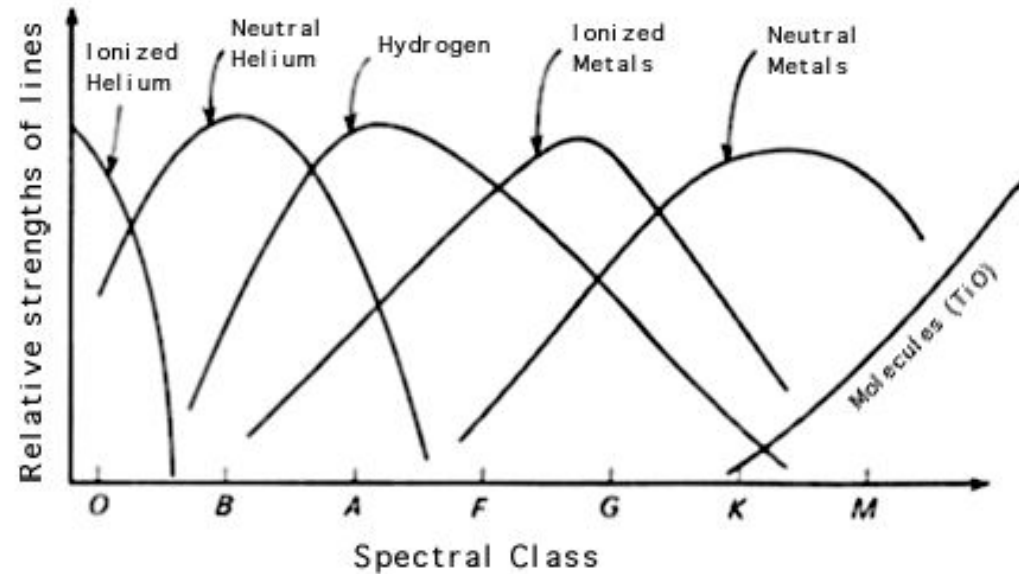


Figure 8.9 The dependence of spectral line strengths on temperature.

Основные спектральные особенности

- O** Линии He II и высокоионизованных атомов
- B** Линии He I и низкоионизованных атомов, H
Интенсивные линии Бальмеровской серии водорода
- F** Линии нейтральных атомов и металлов низкого возбуждения
- G** Линии нейтральных металлов
- K** Линии нейтральных металлов, молекулярные полосы
- M** Широкие молекулярные полосы (TiO и др.)

С температурой как у **K-M** звезд:

- C** Углеродные звезды – полосы C_2 , CN, CO
- S** В спектре тяжелые элементы (ZrO, YO, LaO)

Диаграмма «спектр-светимость»

В начале XX века была установлена зависимость между видом спектра звезды и ее светимостью (диаграмма «спектр-светимость» или «температура - абсолютная величина»).

Положение каждой звезды на диаграмме определяется ее физической природой и стадией эволюции.

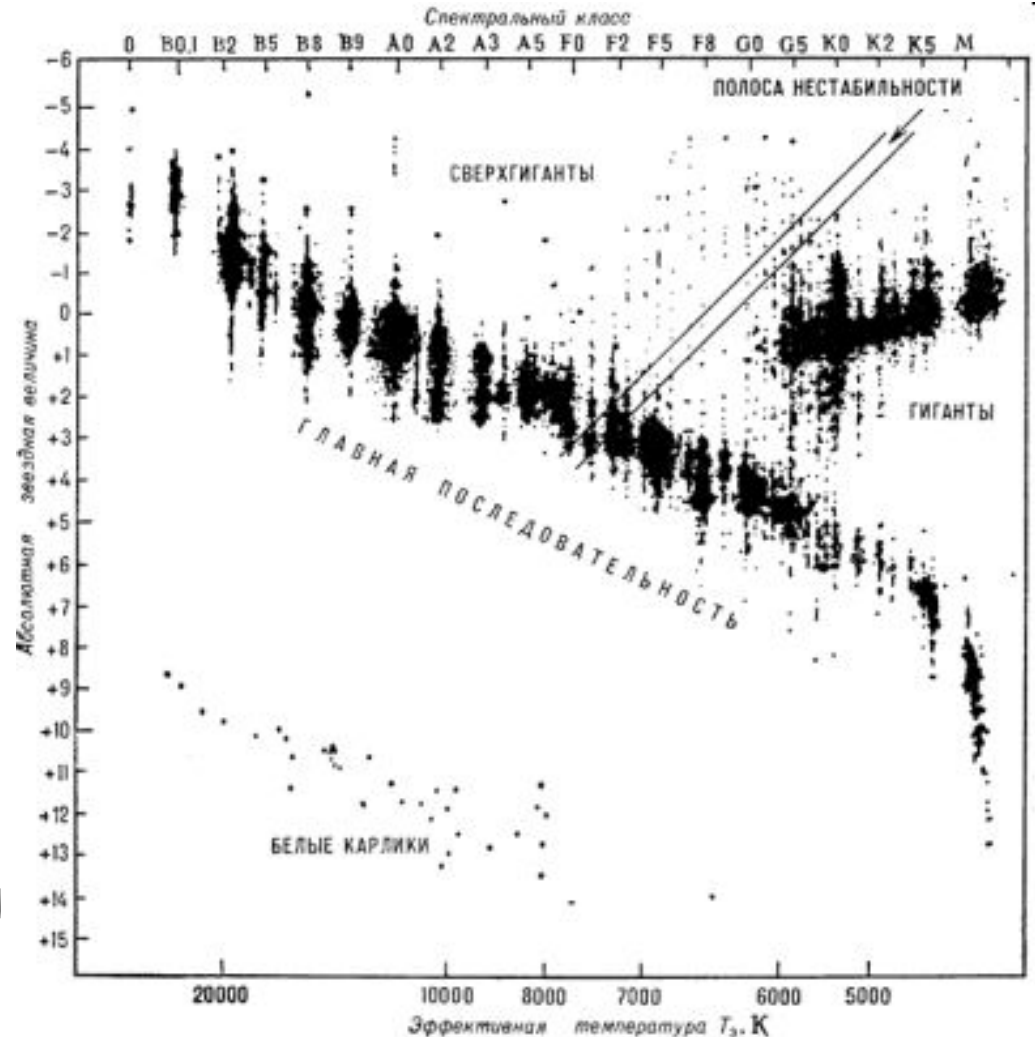
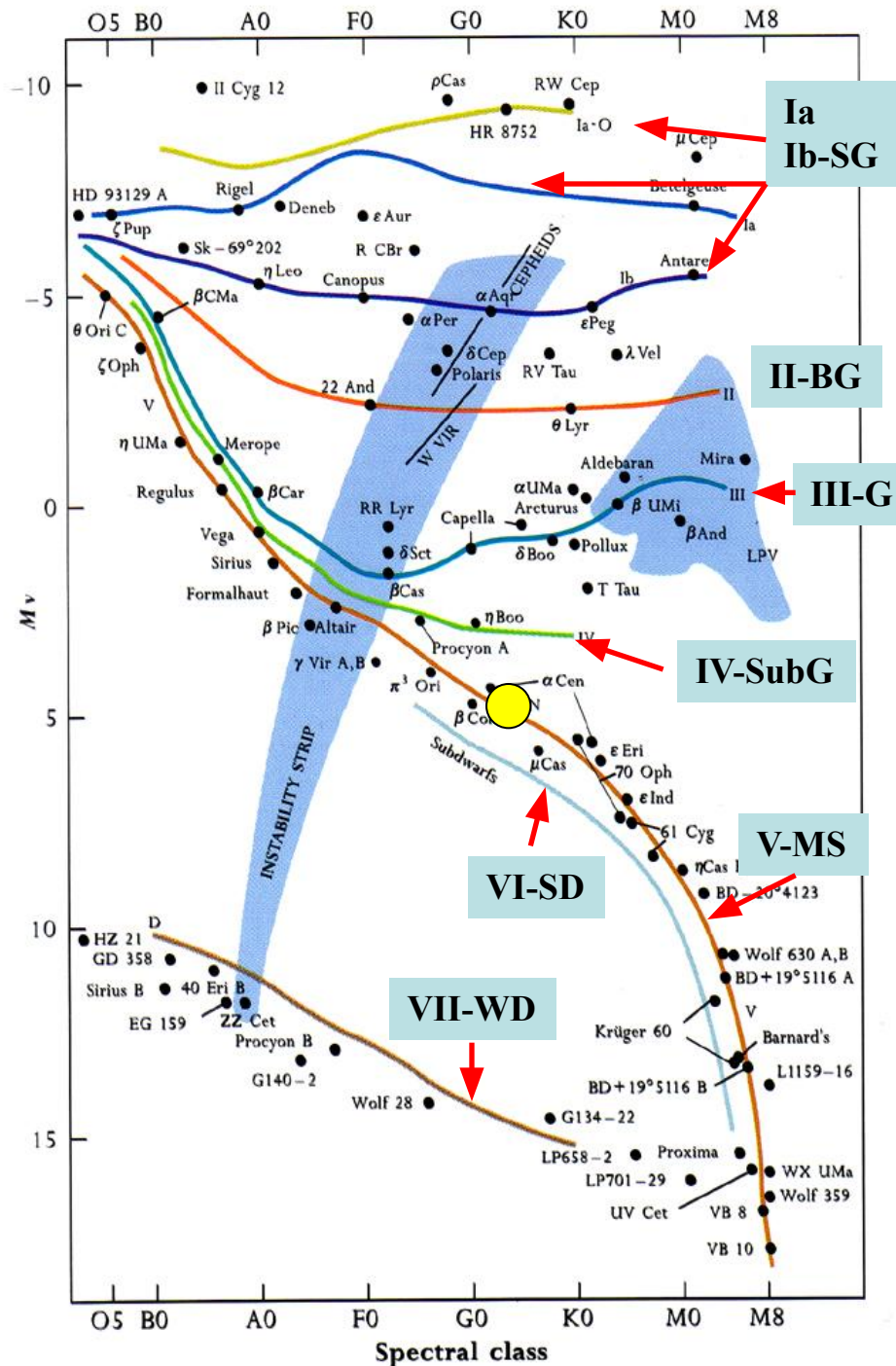


Диаграмма спектр-светимость (Герцшпрунга-Рассела; цвет-абсолютная величина)

- 7 классов светимости:
- Ia, Ib сверхгиганты (SG, СГ)
 - II яркие гиганты (BG)
 - III гиганты (G, RG, КГ)
 - IV субгиганты (SG)
 - V карлики, главная последовательность (MS, ГП)
 - VI субкарлики (SD)
 - VII белые карлики (WD, БК)

Голубым цветом показаны области пульсирующих звезд (полоса неустойчивости).

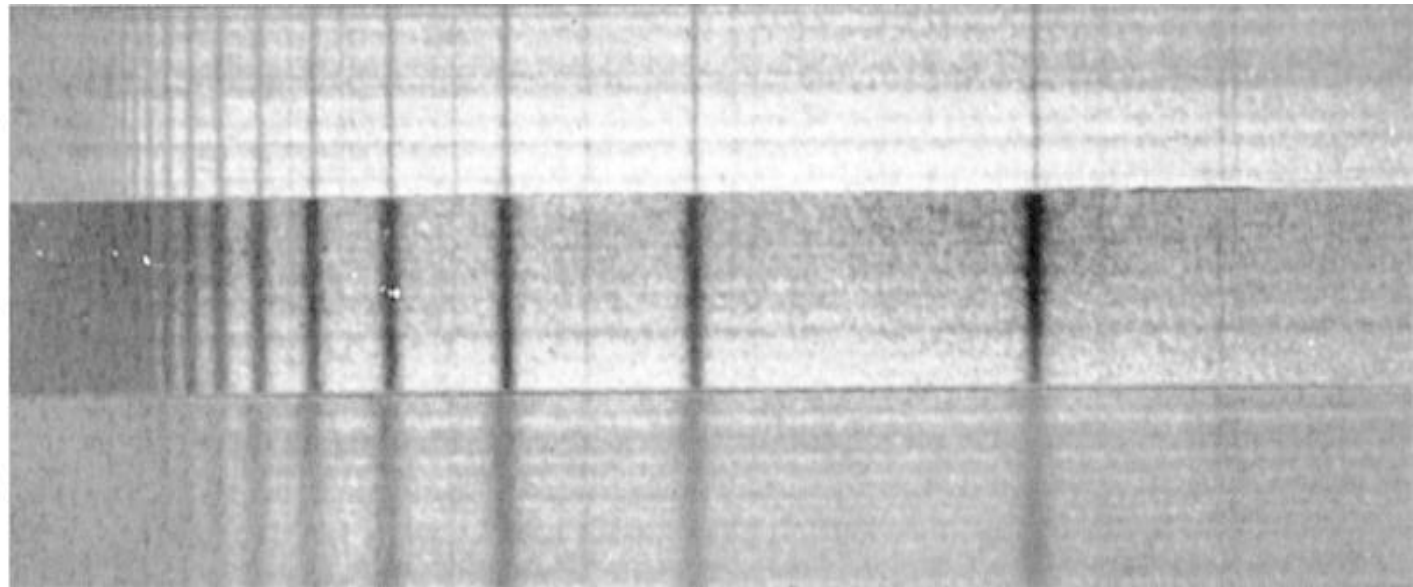


Вид спектра для звезд разных классов светимостей

Сверхгигант

Гигант

Звезда ГП

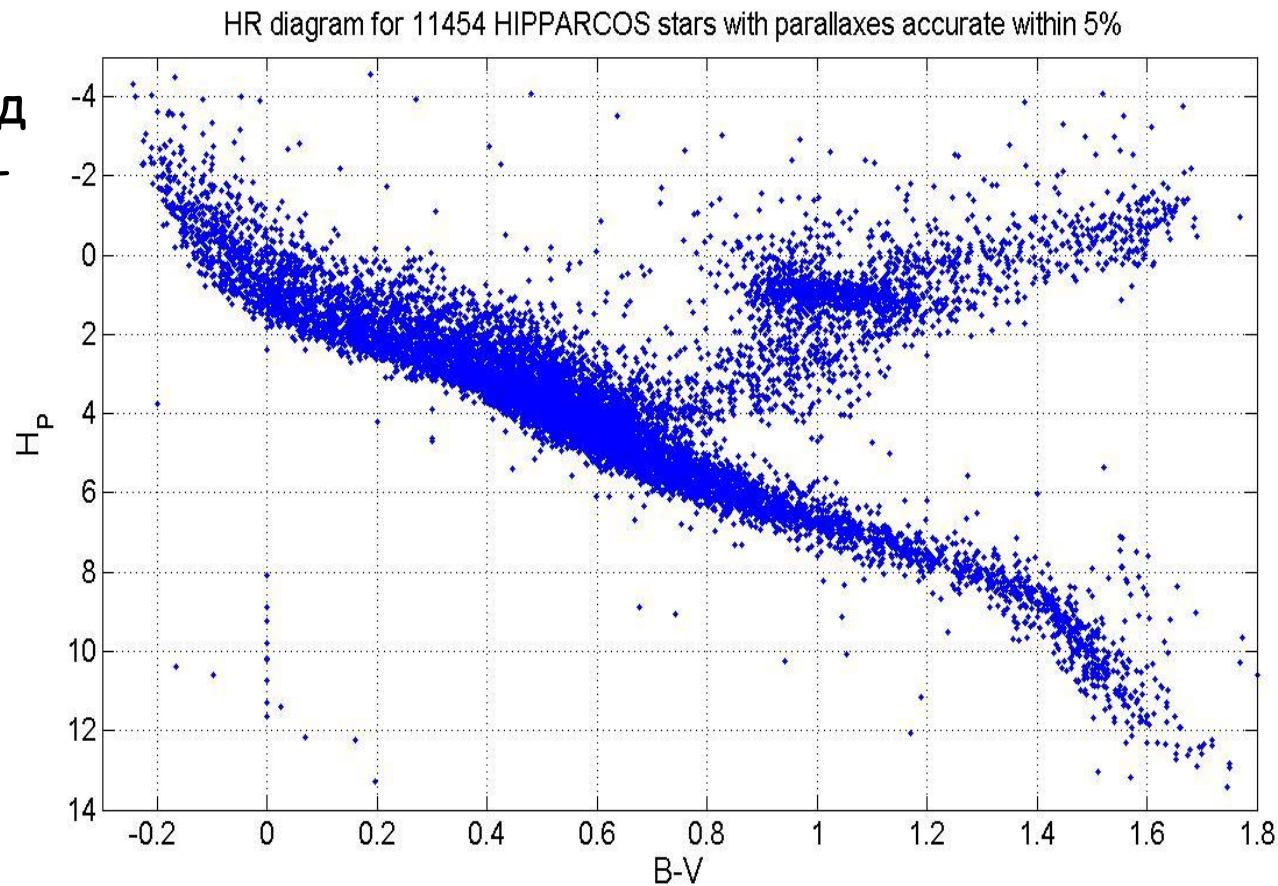


Класс светимости звезды можно установить по ширине спектральных линий: линии уже в спектрах сверхгигантов и шире у звезд-карликов. Это связано с различием физических условий в атмосферах звезд разных светимостей.

HIPPARCOS (van Leeuwen, 2007)

Диаграмма абсолютная величина H_p – цвет $(B-V)_J$

Современный вид
диаграммы «цвет-
светимость» по
заатмосферным
наблюдениям.



Подавляющее большинство (> 90%)
звезд – карлики (ГП, V)

Таким образом, двумерная спектральная классификация звезд характеризует не только температуру звезды, но и ее светимость:

Солнце - G2 V - звезда главной последовательности, имеющая температуру 5800К;

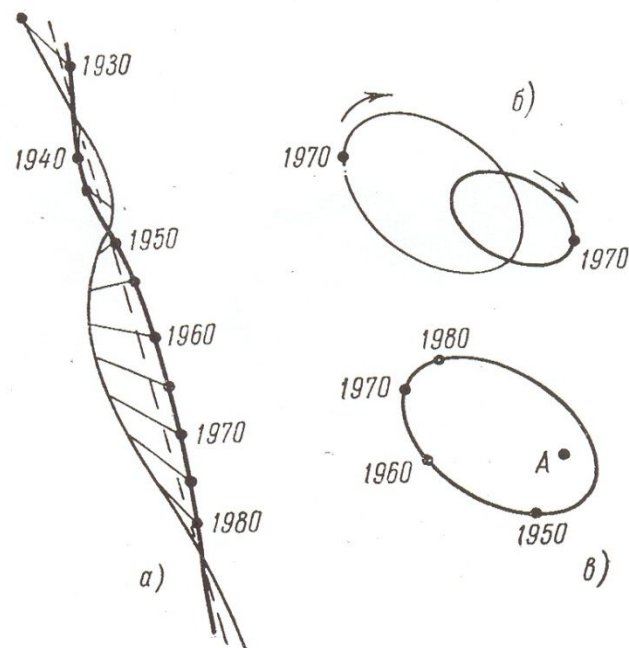
Спутник Сириуса - A5 VII - белый карлик, T=10000К

Бетельгейзе - M2 I - сверхгигант, T= 3000К

Двойные звезды

Двойные звезды - гравитационно связанные звезды, вращающиеся вокруг центра масс системы.

Можно измерять относительные орбиты (рис. в; обратите внимание, что это видимый эллипс - фокус, в котором находится более яркая звезда, смещен при проекции на картинную плоскость). Однако для получения индивидуальных значений масс компонент необходимо измерить абсолютные орбиты (рис. б). В обоих случаях необходимо преобразовать видимые эллипсы в истинные.



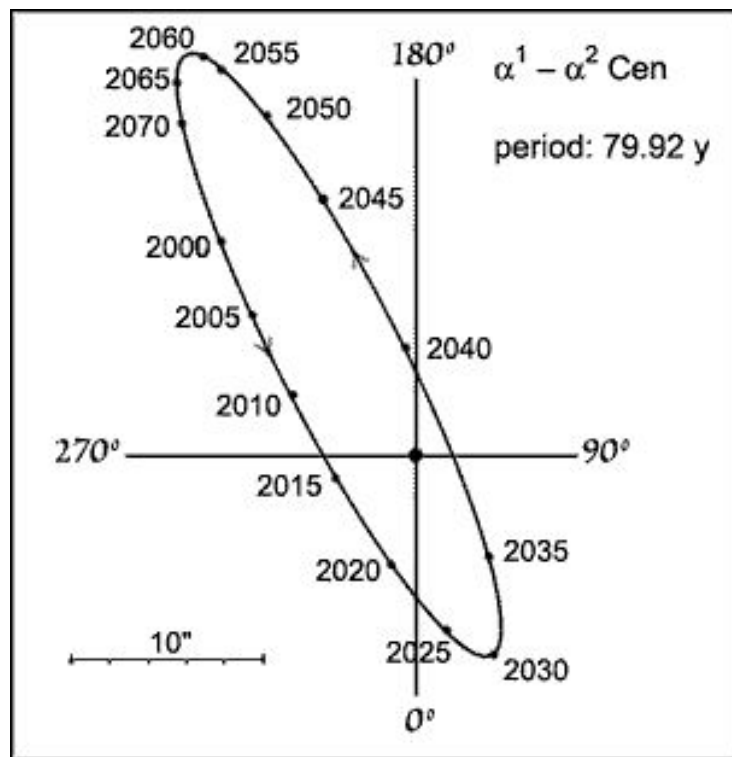
Видимая орбита Сириуса. Жирной кривой на рис. а) показано синусоидальное движение главной звезды, тонкой кривой изображено синусоидальное движение компаньона (белого карлика), пунктирной кривой — движение центра тяжести системы; на рис. б) даны видимые орбиты обоих компонентов вокруг их общего центра тяжести; на рис. в) — видимая орбита спутника вокруг главной звезды.

Двойные звезды

Двойные звезды – гравитационно связанные звезды, вращающиеся вокруг центра масс системы. Разделение на типы – по методу наблюдений.

Визуальные двойные звезды – компоненты системы разрешаются приемной аппаратурой. Измеряются: угловое расстояние между звездами и позиционный угол.

На рисунке приведена видимая орбита (проекция истинной!) для α Центавра.



Двойные звезды

Геометрические преобразования наблюдаемой орбиты в истинную позволяют применить 3 закон Кеплера и вычислить сумму масс звезд:

$$(M_1 + M_2) = 4\pi^2 a^3 / G P^2,$$

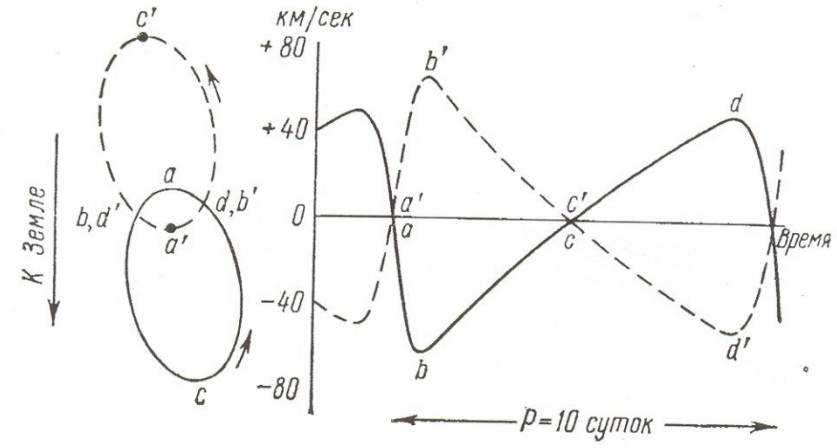
где a и P - большая полуось относительной орбиты и период соответственно.

Для определения индивидуальных масс необходимо определить большие полуоси орбит каждой звезды, и тогда:

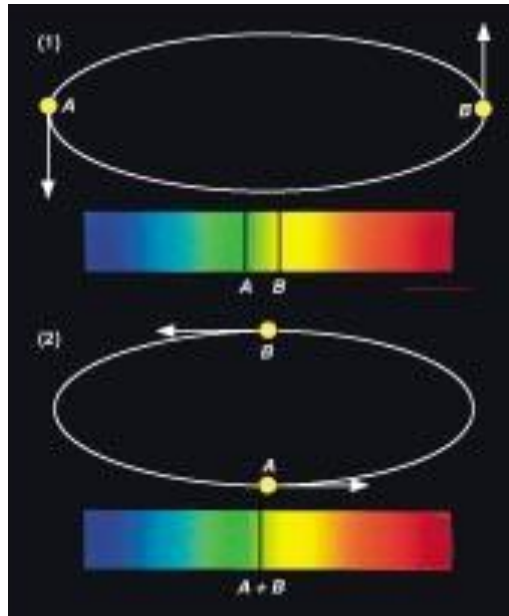
$$M_1 a_1 + M_2 a_2 = 0, \quad a = a_1 + a_2$$

Двойные звезды

Спектральные двойные – компоненты не видны в отдельности. Движение выявляется только по смещению линий в спектре (эффект Доплера).



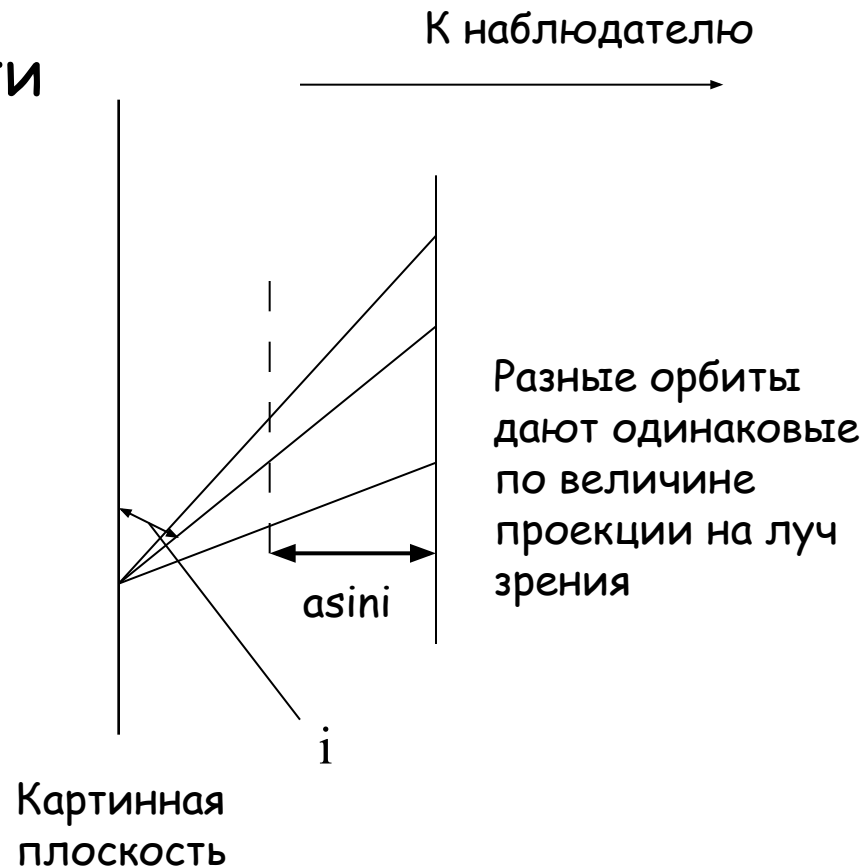
Спектрально-двойная звезда ζ Большой Медведицы. Слева показаны орбиты обоих компонентов вокруг их общего центра тяжести; справа кривые скоростей двух компонентов.



Вид кривой лучевых скоростей зависит от формы орбиты и ее ориентации в пространстве. Скорость центра масс двойной системы может быть отлична от 0.

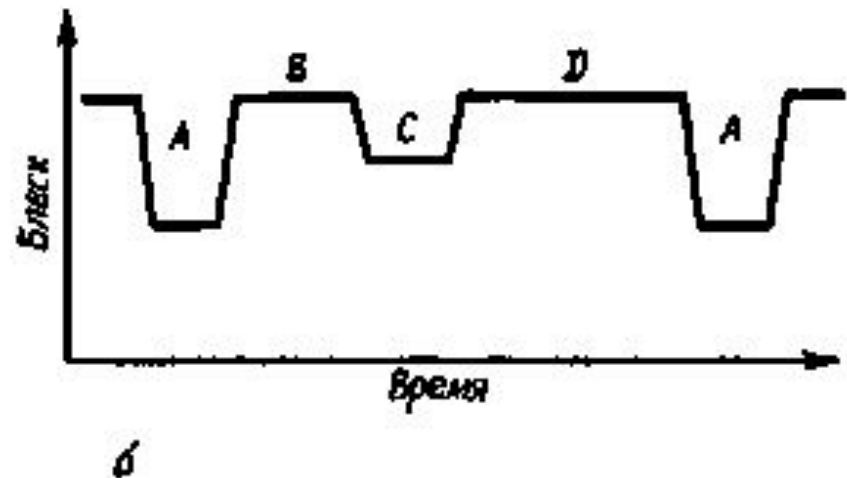
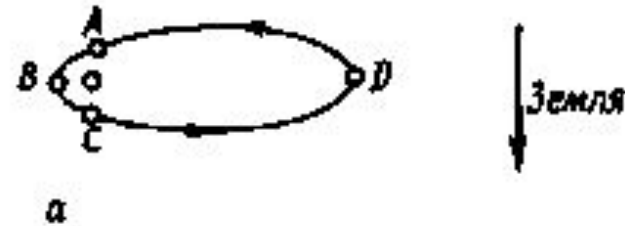
Для спектральных двойных наблюдаемая величина скорости и полуоси орбиты, являются проекцией истинных величин на луч зрения, что приводит к определению только нижних границ масс звезд:

$$M_1 \sin^3 i \text{ и } M_2 \sin^3 i$$



Двойные звезды

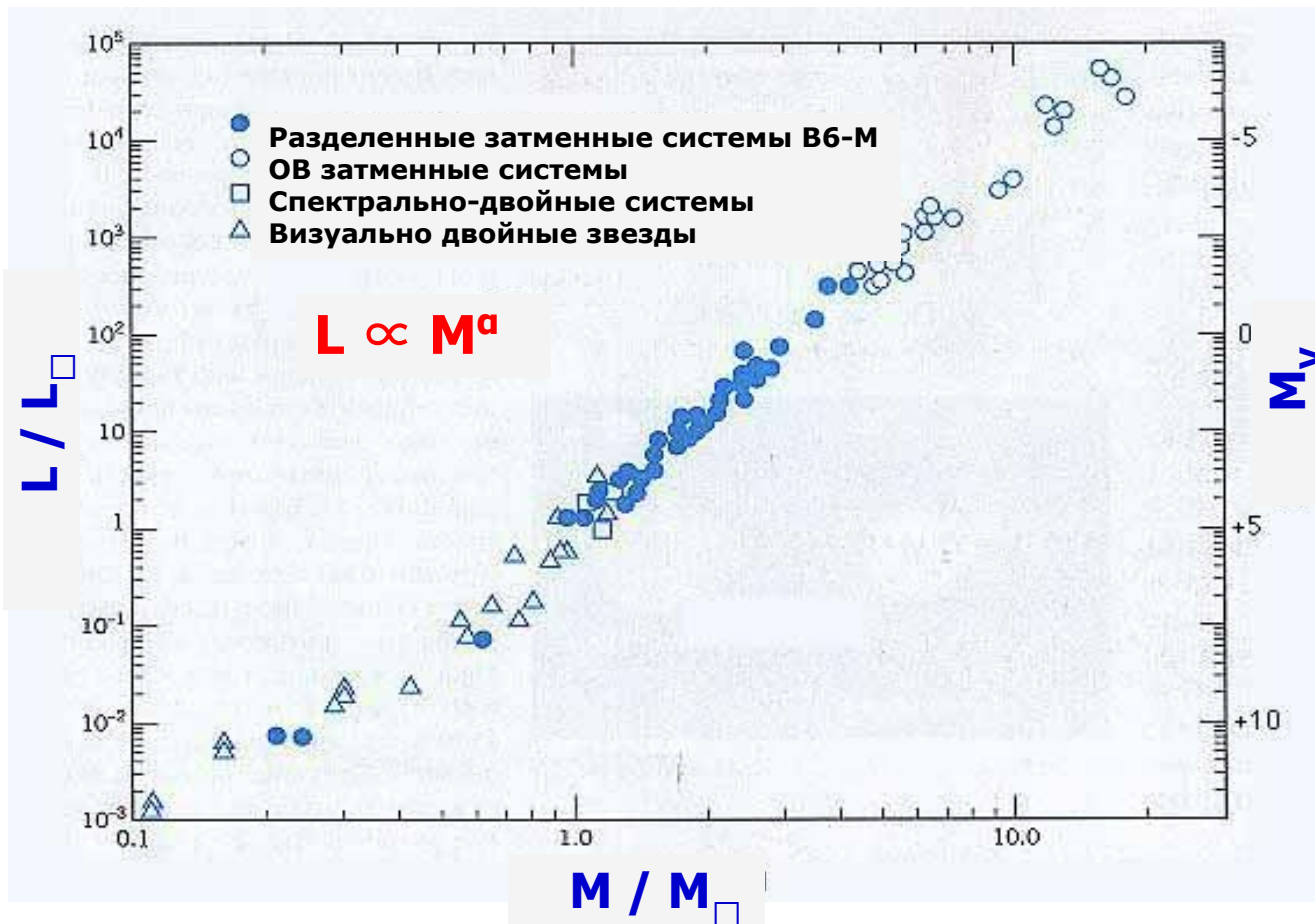
Затменные двойные звезды – компоненты не видны в отдельности. Орбита так ориентирована в пространстве, что происходят затмения. В этом случае надежно определяется угол между картинной плоскостью и орбитой ($i \approx 90^\circ$), что дает возможность в комбинации со спектральными наблюдениями определить массы звезд.



Двойные звезды

Кроме определения масс звезд наблюдения затменных позволяют вычислить радиусы и светимости компонент по продолжительности затмений и глубинам минимумов.

Зависимость «масса-светимость» для звезд ГП



Для некоторых двойных звезд можно точно определить массы, радиусы, температуры и светимости.

Эти данные использовались для получения эмпирической

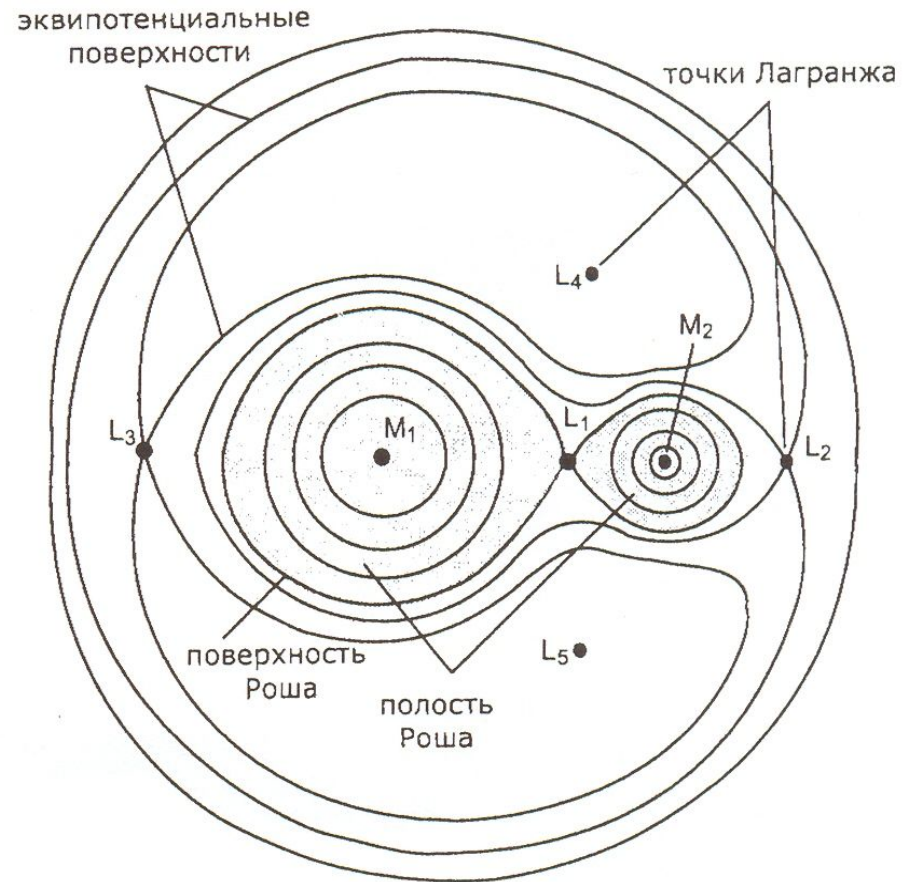
зависимости «масса-светимость» : $L \propto M^{\alpha}$

Для всего диапазона масс в среднем $\alpha=3.5$.

Однако, как для малых, так и для больших масс значение α меньше.

Особые случаи в тесных двойных системах (ТДС)

В случае, если размеры компонент в двойной системе сравнимы с расстоянием между ними, взаимодействия между звездами могут привести к существенным изменениям как формы звезд, так и их физических характеристик.



На рисунке представлено решение ограниченной задачи трех тел (в плоскости орбиты).

Особые случаи в ТДС

Гравитационное поле вращающейся тесной двойной системы определяет положение так называемой внутренней критической эквипотенциальной поверхности Роша. Ее форма и положение точки L_1 , называемой либрационной, зависят от отношения масс компонентов.

Размеры внутренней критической поверхности Роша определяют верхние возможные границы размеров динамически устойчивых компонентов двойной системы. Более массивная компонента в процессе эволюции может заполнить свою критическую полость, что приведет к передаче вещества спутнику и потере вещества системой в целом.

Особые случаи в ТДС. 1

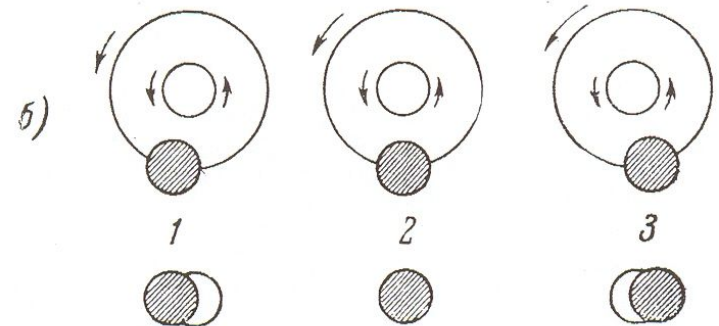
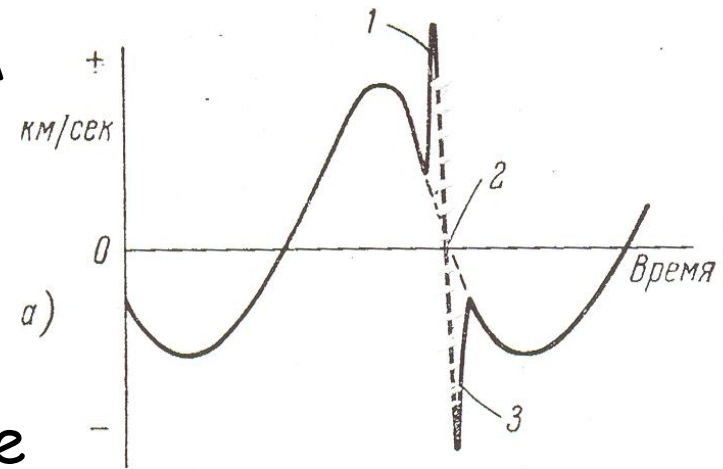
В случаях эллиптической орбиты наблюдается вращение орбиты в ее плоскости (вращение линии апсид - большая ось орбиты), проявляющееся в периодическом ($T \gg P_{\text{орб}}$) смещении вторичного минимума. Скорость вращения зависит от степени концентрации массы звезды к центру; в пределе точечные массы к такому эффекту не приводят.

Таким образом, в уравнения движения вводится параметр, связанный с распределением вещества по радиусу звезд.

Особые случаи в ТДС. 2

У некоторых затменных звезд как перед главным минимумом (затмевается более яркая компонента), так и сразу после него на кривой лучевых скоростей наблюдается резкое увеличение, а затем уменьшение скорости, причем величина скорости систематически больше, чем это следует из законов Кеплера.

На рисунке представлена двойная система с холодной компонентой, спектральные линии которой из-за низкой светимости не наблюдаются (в момент 2 она затмевает более яркую звезду)



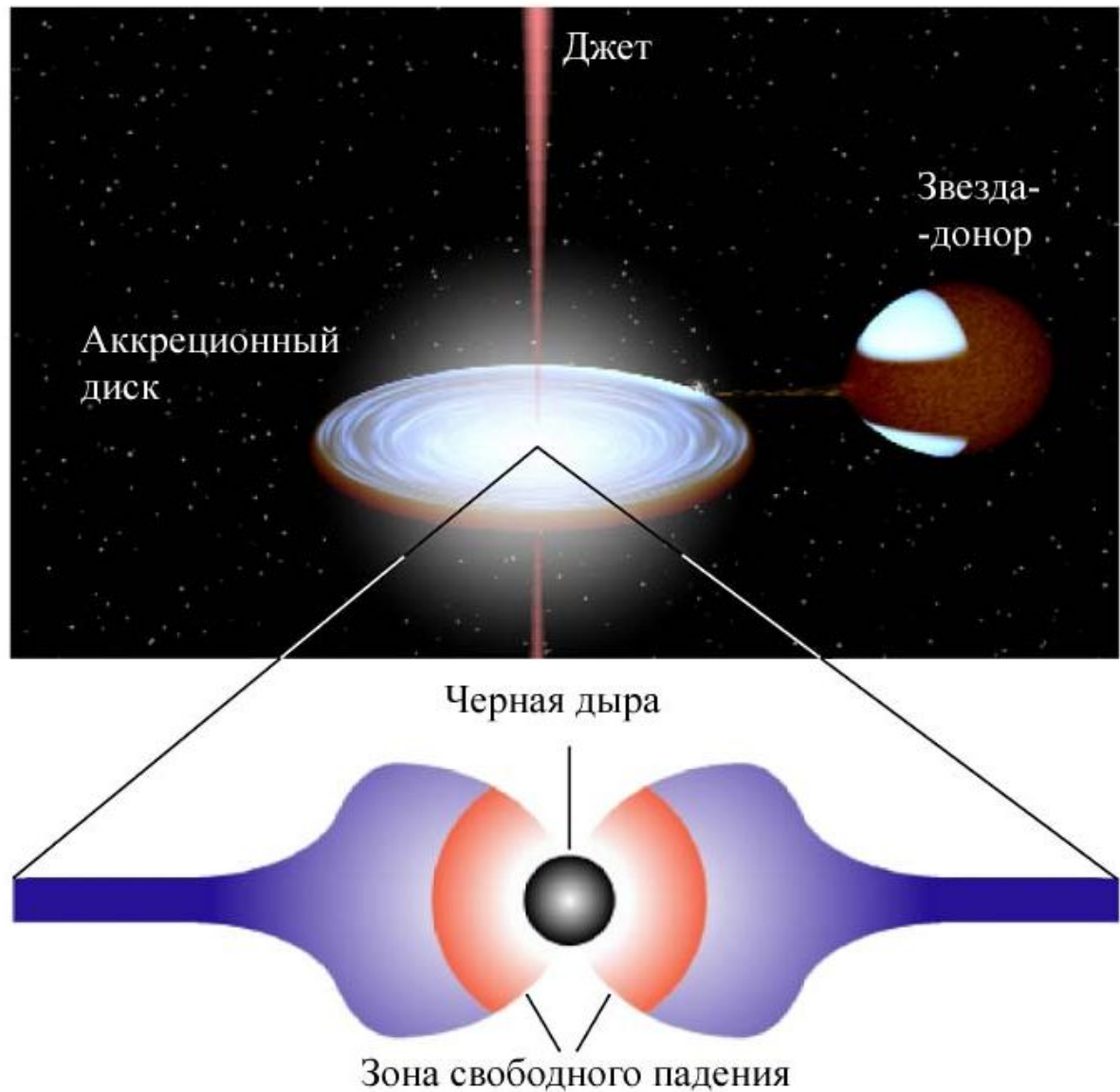
Изменение кривой скорости затменной двойной пары, вызванное вращением одной из звезд.

Особые случаи в ТДС. 2

Это явление связано с тем, что вблизи затмения мы наблюдаем только часть диска звезды. Осевое вращение звезды и приводит к тому, что в формировании спектра преобладает то удаляющаяся от нас полусфера (перед затмением), то приближающаяся (после него).

Примечание: скорость осевого вращения можно измерить и у одиночных звезд по уширению спектральных линий. Однако, уширение вызывается несколькими факторами, которые не всегда можно разделить. Кроме этого, не определяется наклон оси вращения звезды - скорость мы получаем в виде $V \sin i$.

Особые случаи в ТДС. 3



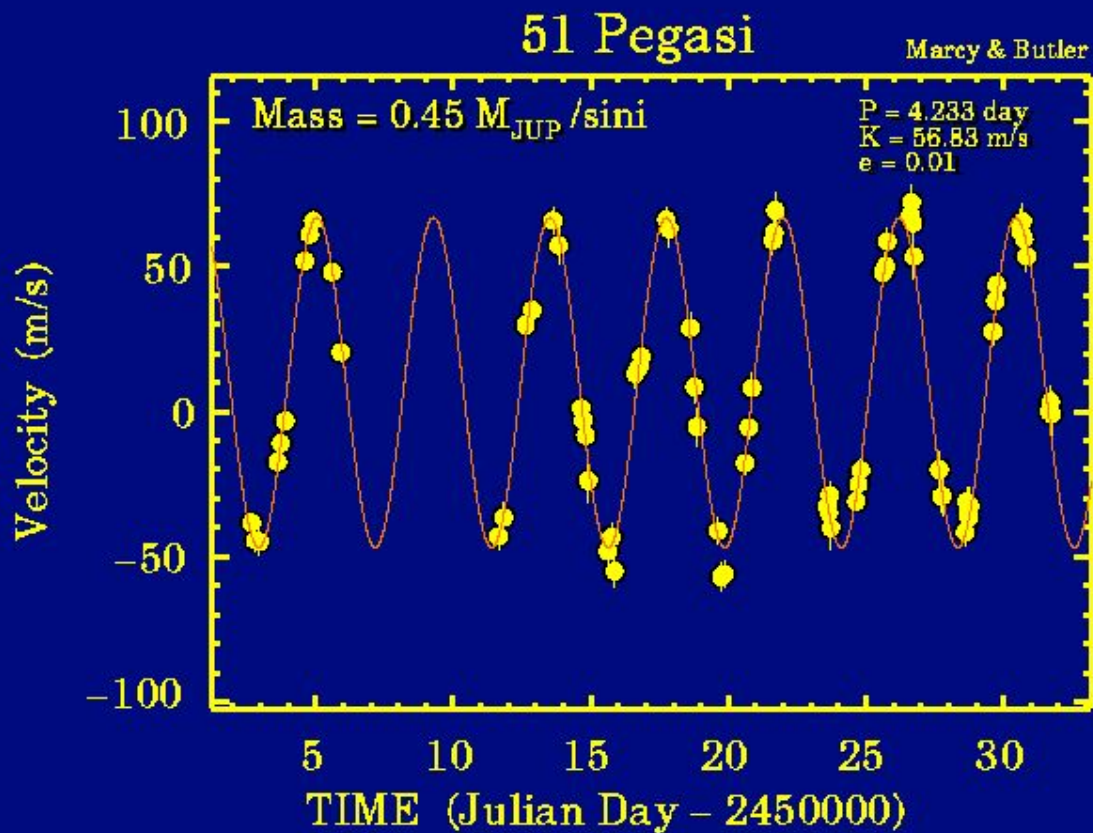
Художественное изображение двойной системы GRS 1915+105

Планеты у других звезд (ТДС. 4)

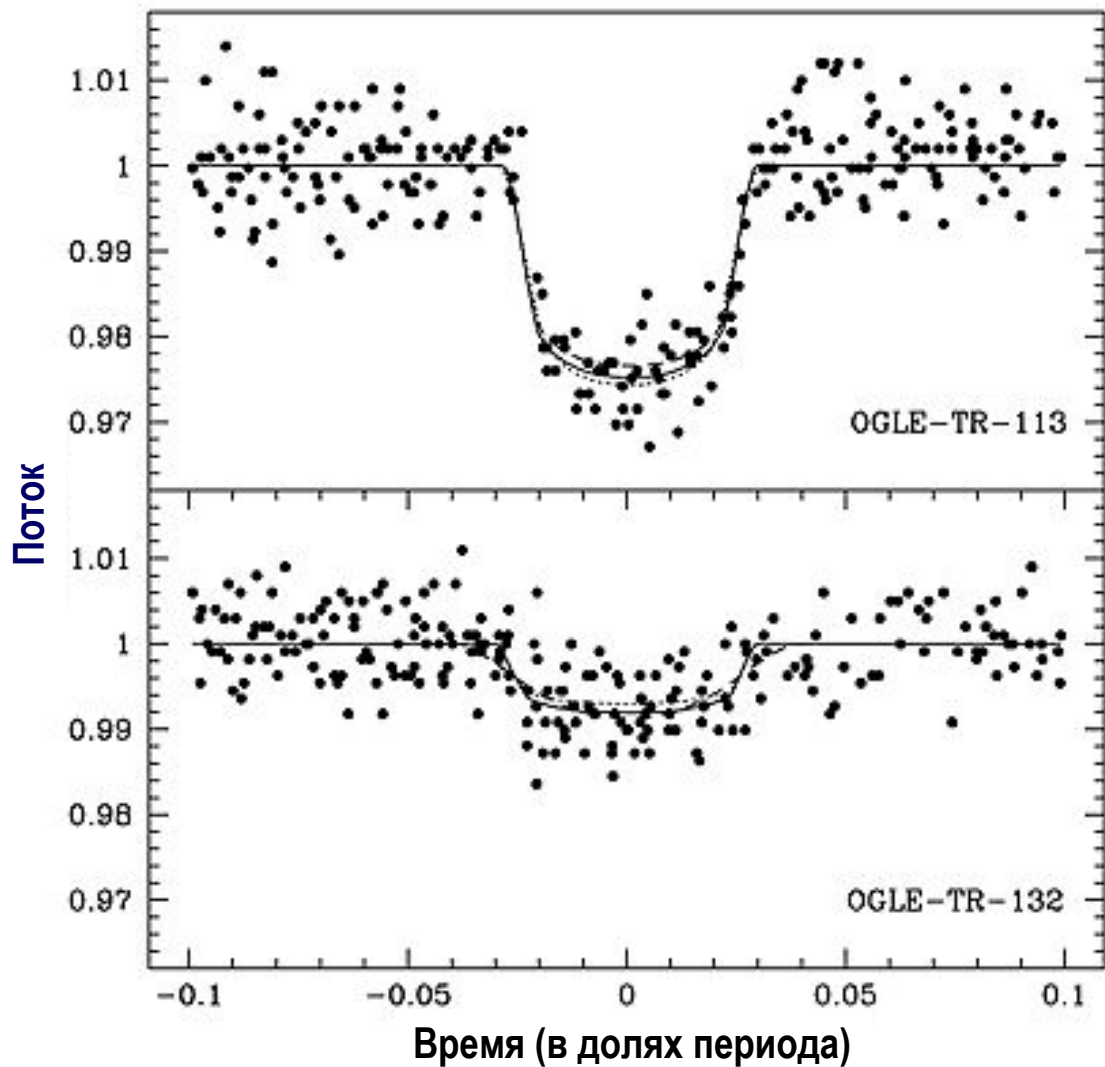
Современная техника наблюдений позволяет определять лучевые скорости с точностью до единиц метров в секунду: таким образом появилась возможность обнаружения маломассивных спутников звезд – планет. В основном, это планеты с массами, в сотни раз больше массы Земли, расположенные близко к звездам солнечного типа («горячие Юпитеры»).

Не менее перспективным является метод, основанный на измерении ослабления блеска звезды при прохождении планеты по ее диску: именно так запланирован космический эксперимент «Кеплер»(2009-2011гг.), итогом которого предполагается обнаружение тысячи массивных планет и сотен планет, с массами, близкими к земной.

Планеты у других звезд



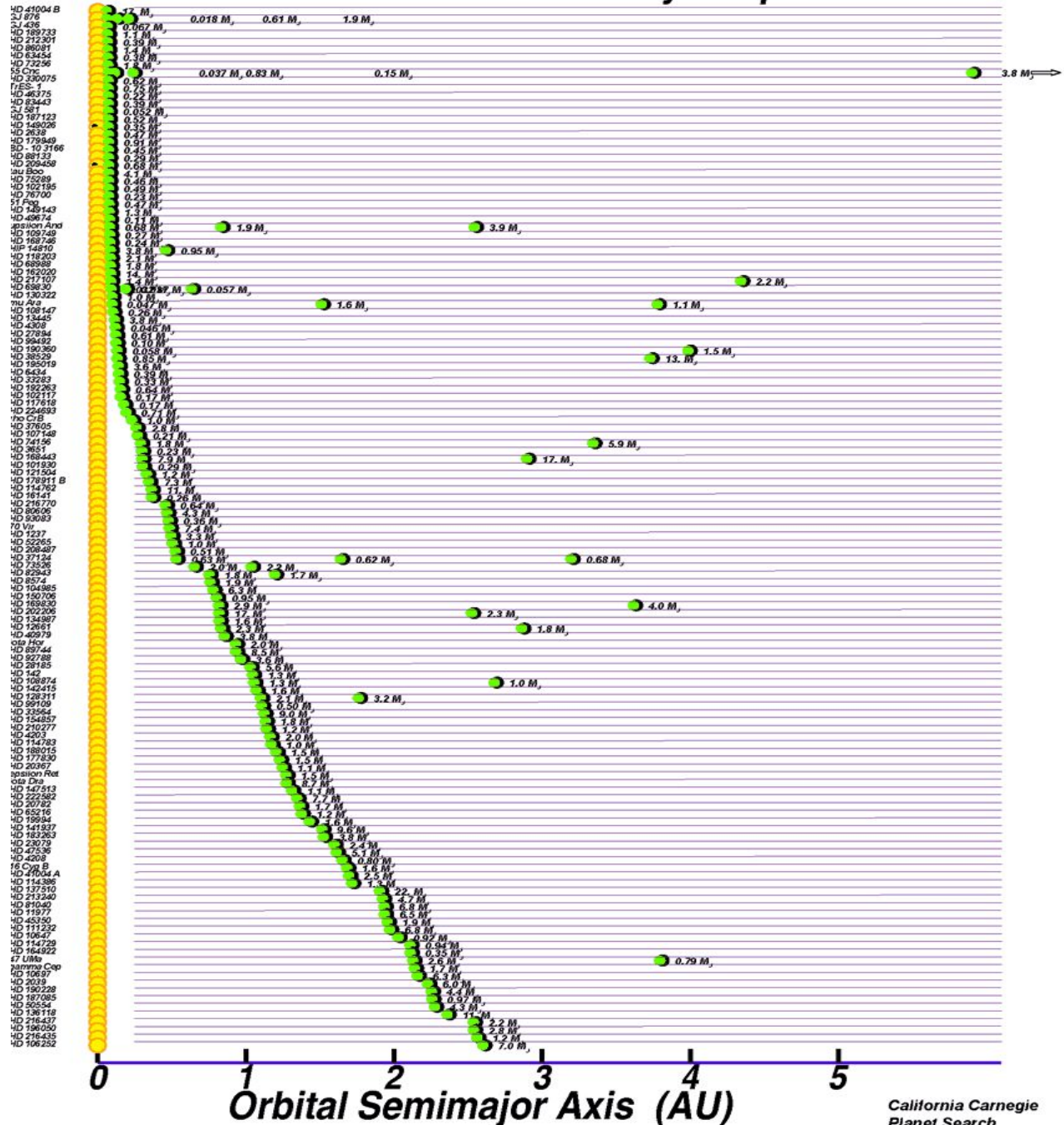
Планеты у других звезд



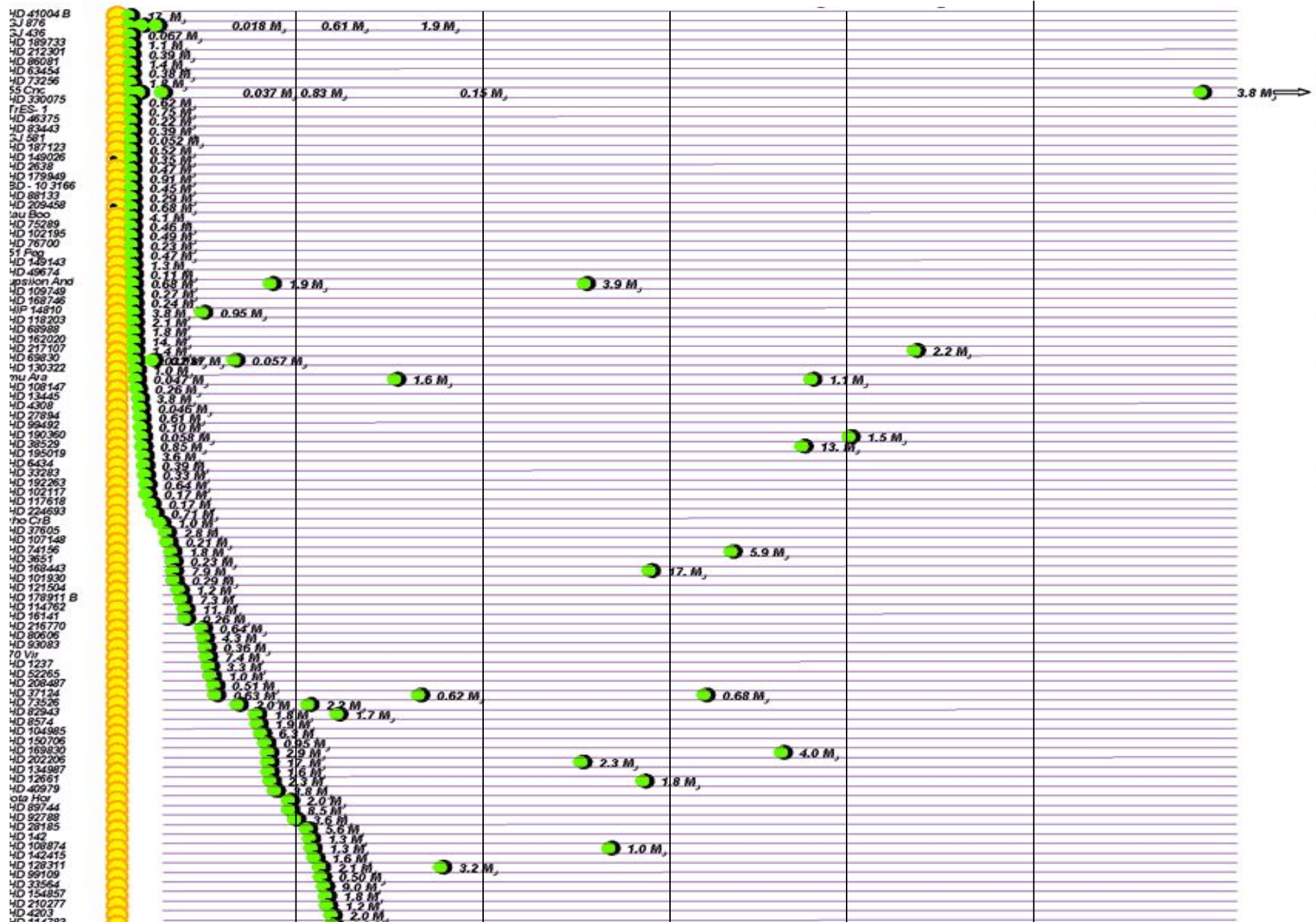
Наблюдаемые кривые блеска для двух звезд в результате покрытия диска звезды планетой.

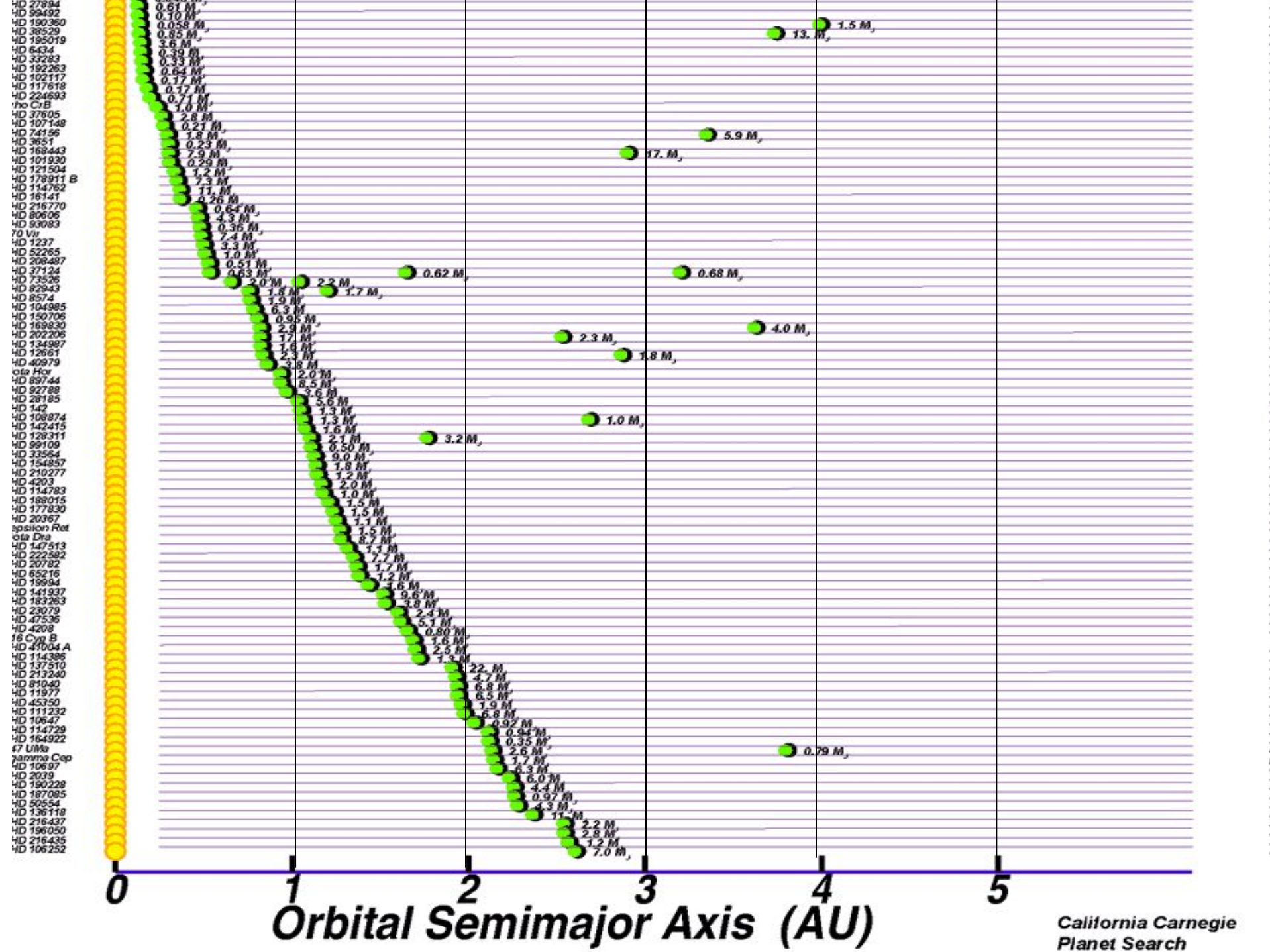
The 178 Known Nearby Exoplanets

Желтыми кружками представлены звезды, зелеными - планеты. Массы планет даны в массах Юпитера. Несколько планет на одной горизонтали - планетная система одной звезды.



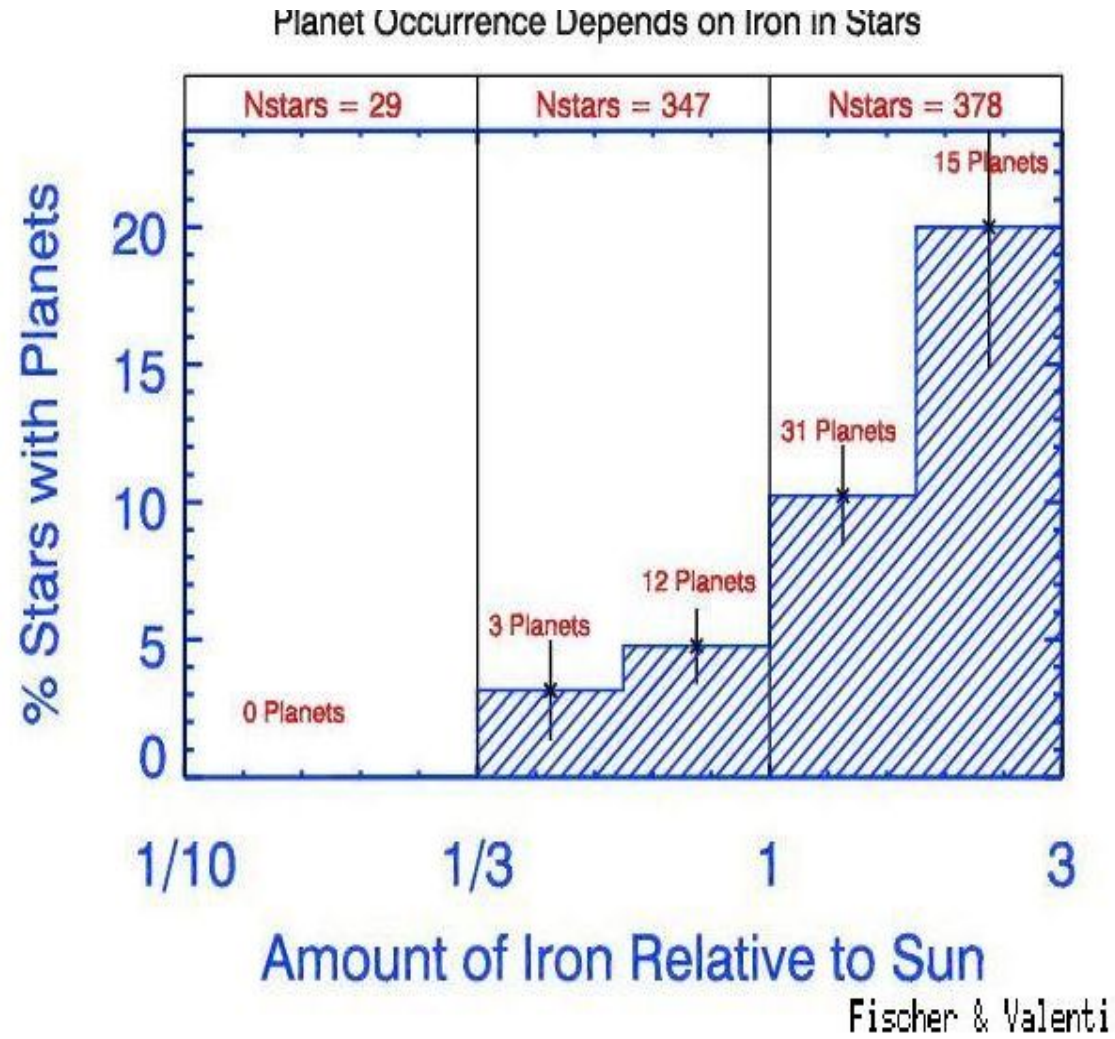
Orbital semimajor axis (A.U.)





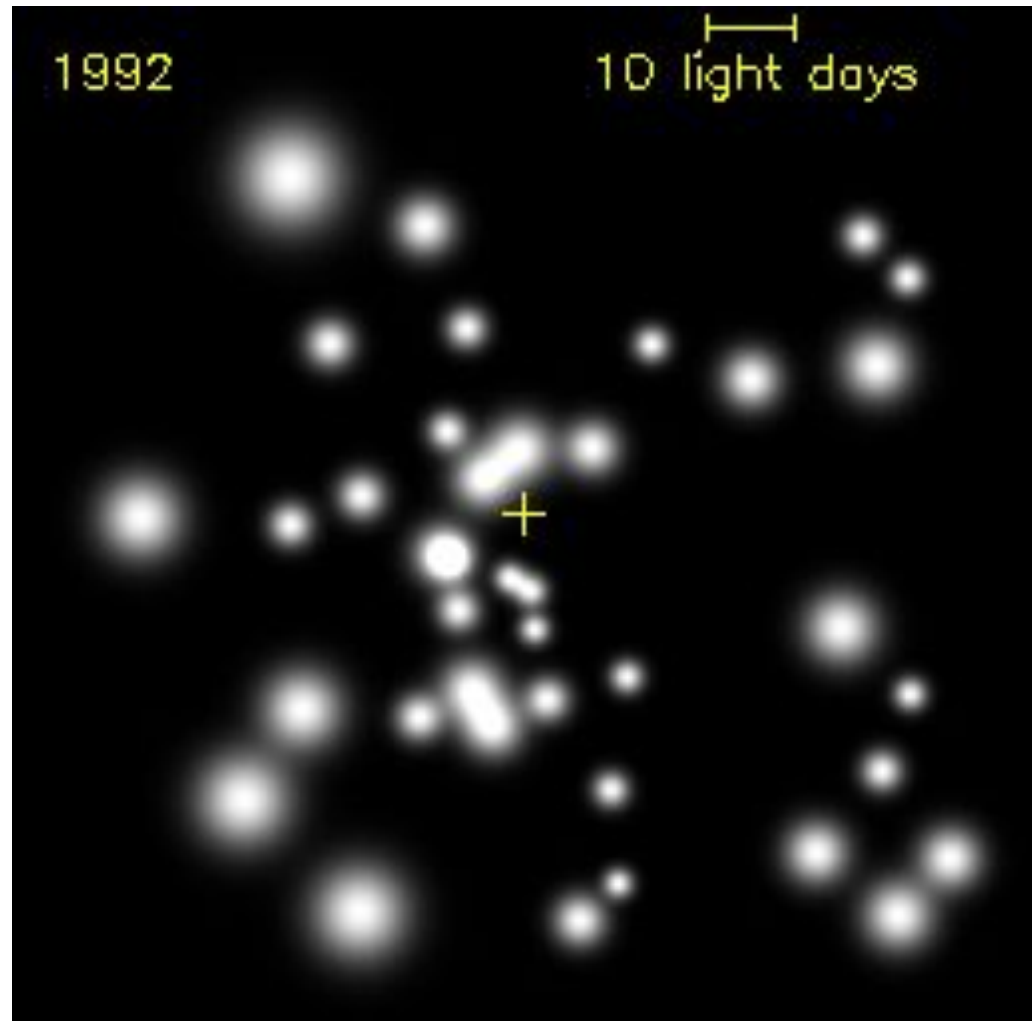
Планеты у других звезд. (ТДС. 4)

Определение химсостава звезд с планетами показало, что в основном это звезды с большим содержанием тяжелых элементов, относящиеся к молодому населению диска нашей Галактики.



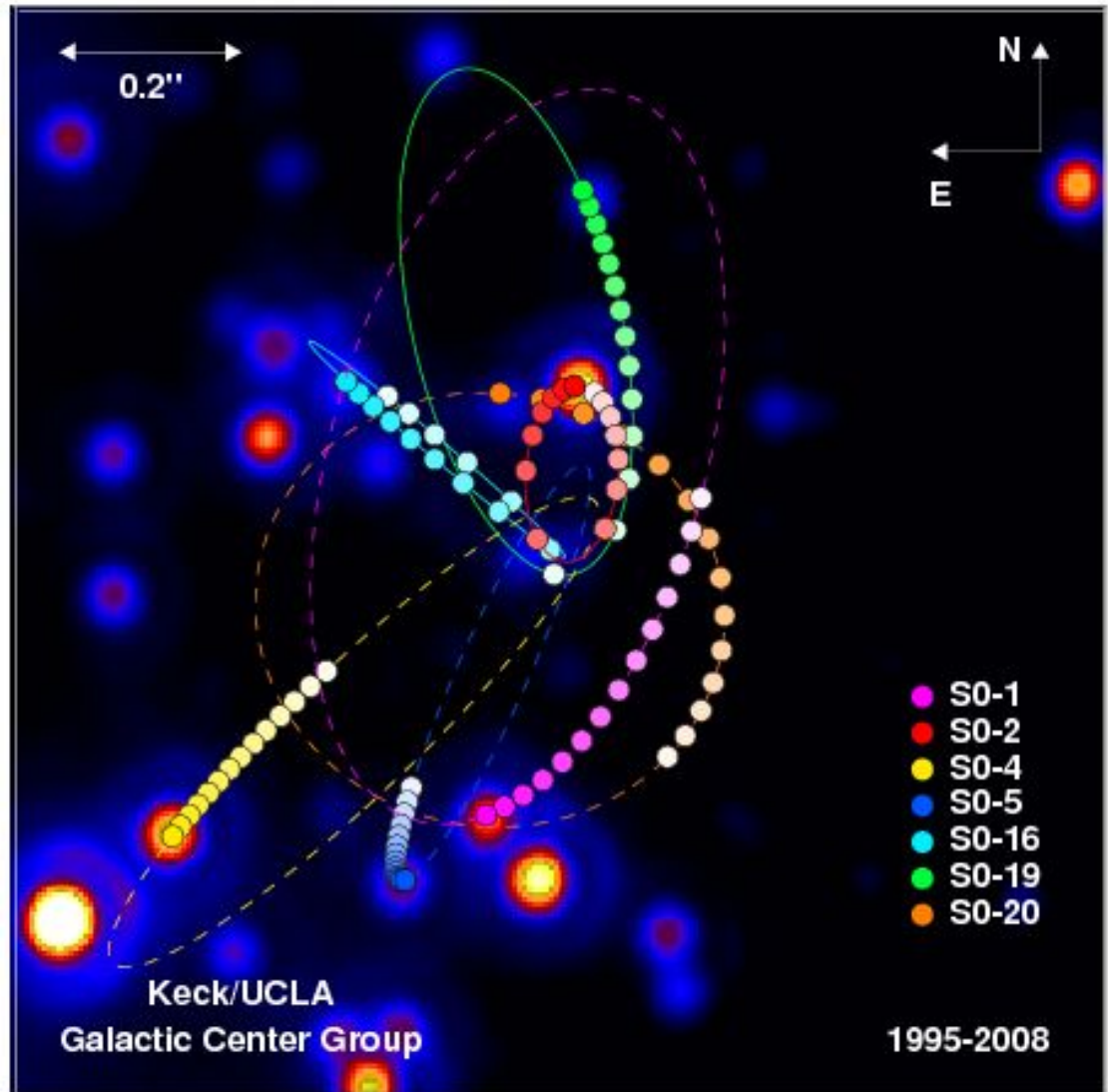
Черная дыра в центре Галактики (ТДС. 5)

Наблюдения центра нашей Галактики в ближнем ИК-диапазоне, на 10-м телескопе Кеск.

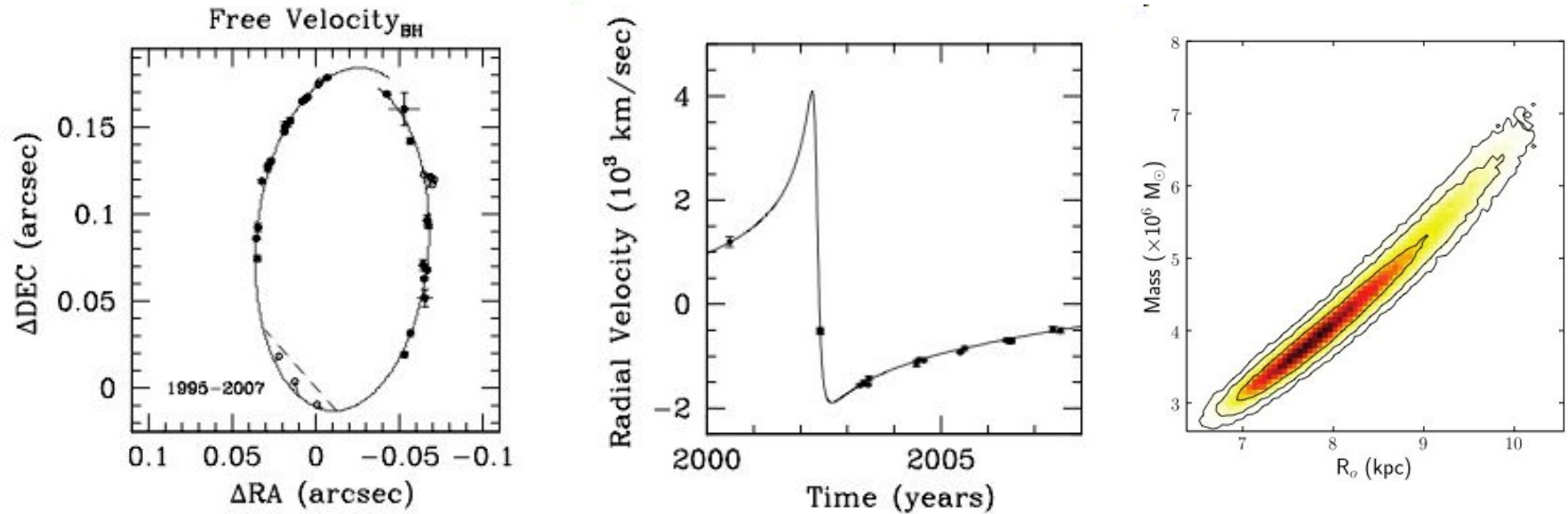


Черная дыра в центре Галактики. (ТДС. 5)

Орбиты звезд
вокруг черной
дыры в центре
нашей Галактики.



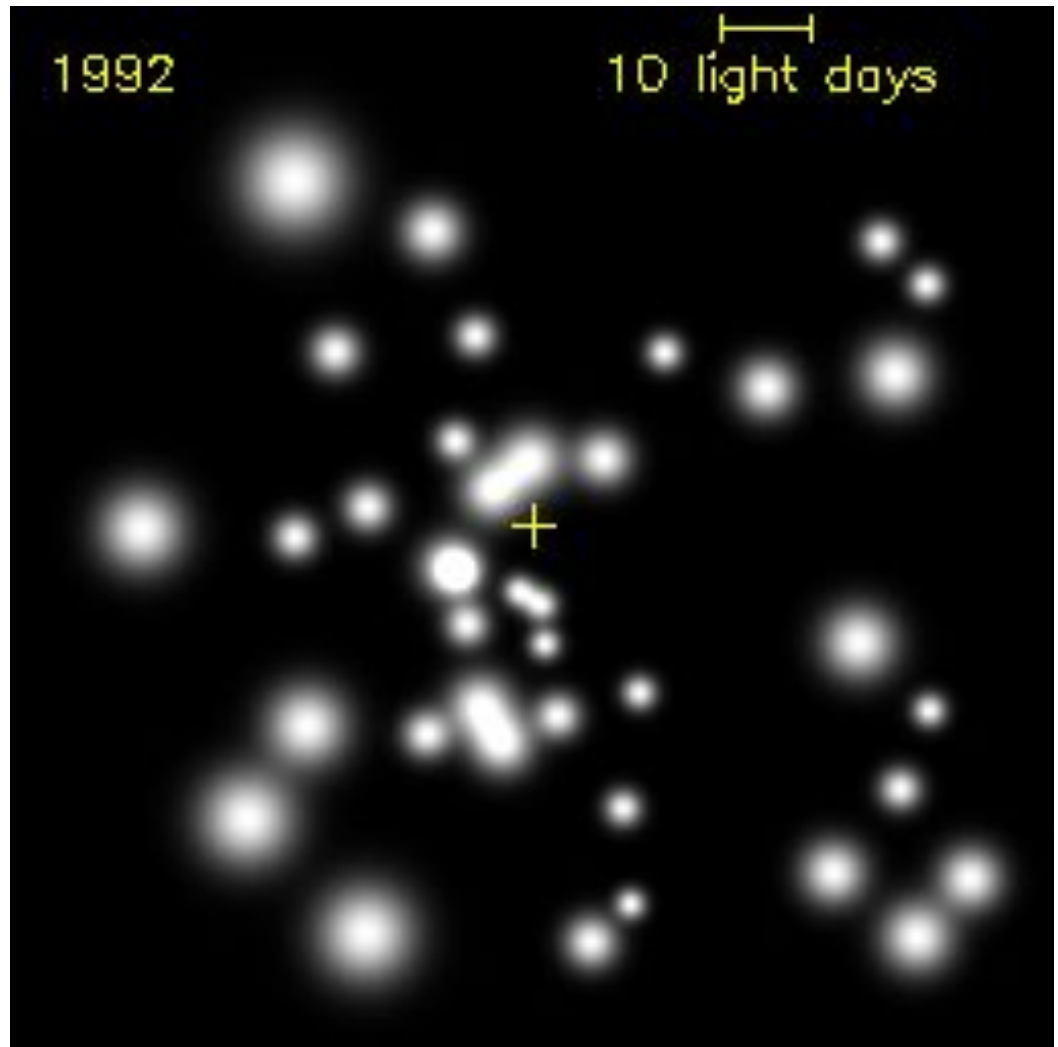
Черная дыра в центре Галактики (ТДС. 5)

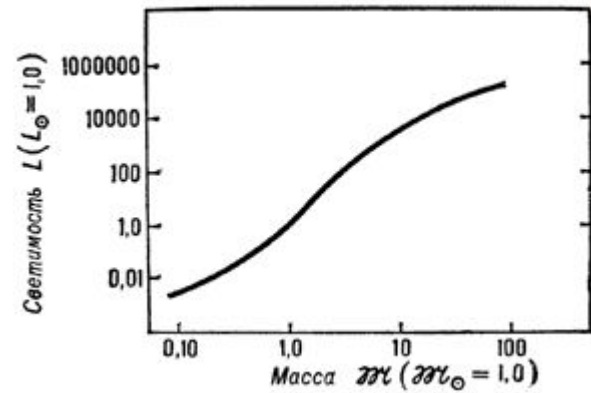
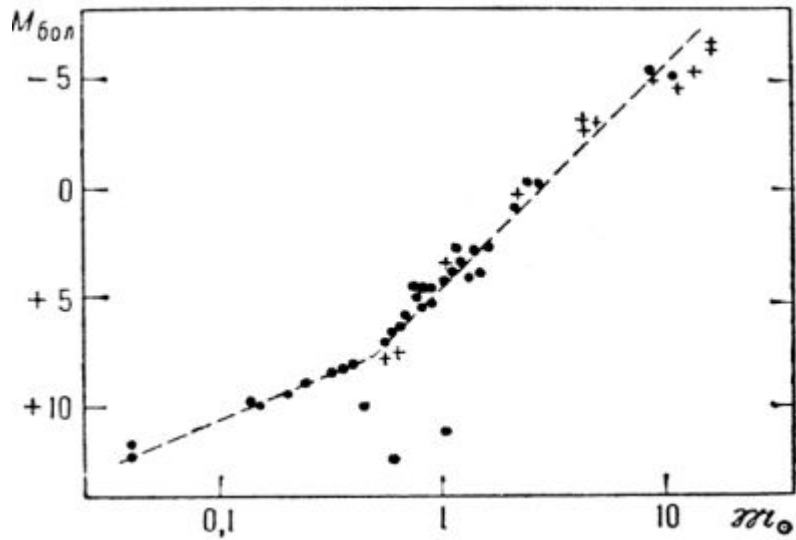


Орбита ближайшей к ЧД звезды и кривая ее лучевой скорости дают массу ЧД и расстояние до центра Галактики: $M_{\text{чд}} = 4.1 \pm 0.6 \cdot 10^6 M_{\odot}$ и $R_0 = 8.0 \pm 0.4 \text{ кпк}$.

1992

10 light days





Зависимость масса-абсолютная
 болометрическая звёздная величина
 по данным о спектрально-двойных
 (крестики) и визуально-двойных (точки) звёздах.
 Три точки внизу, в стороне от остальных, - белые
 карлики - компоненты двойных. По оси абсцисс
 отложены в логарифмической шкале массы звезд,
 выраженные в единицах массы Солнца .

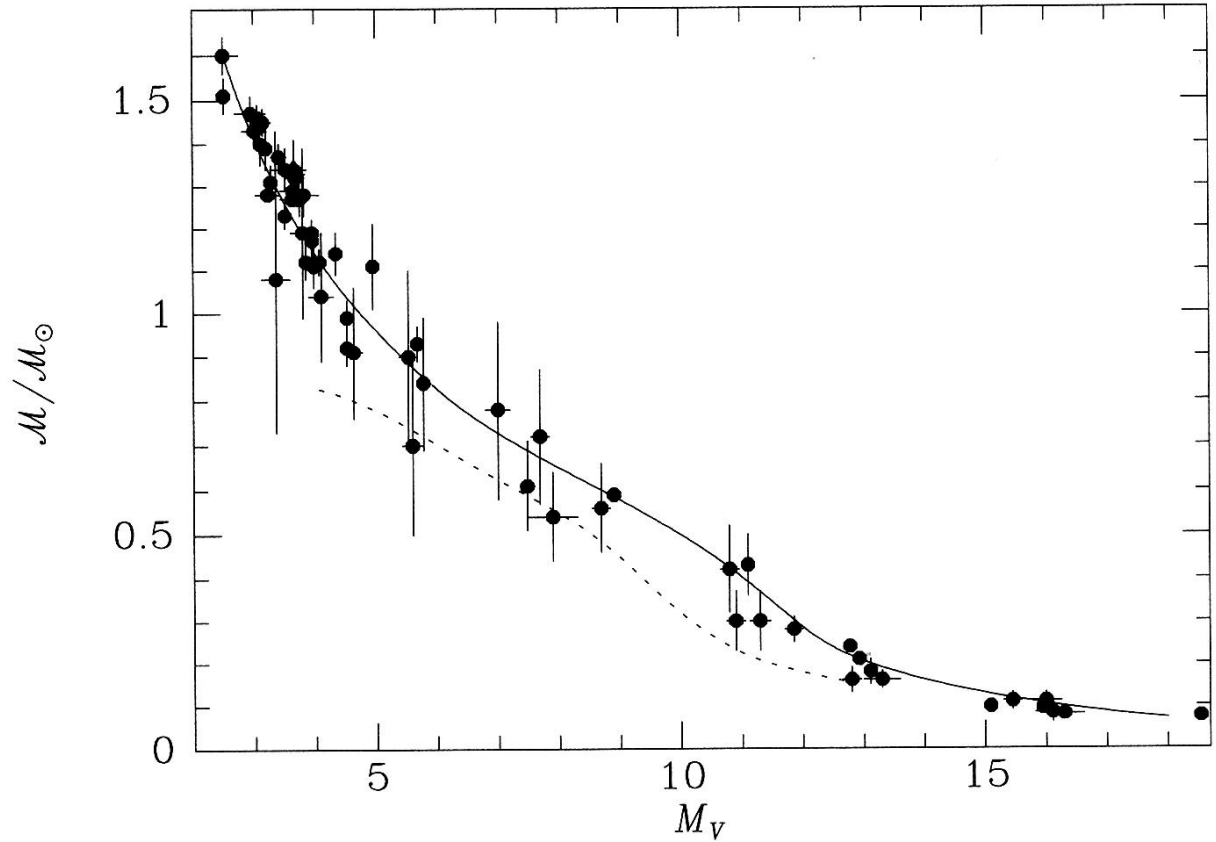
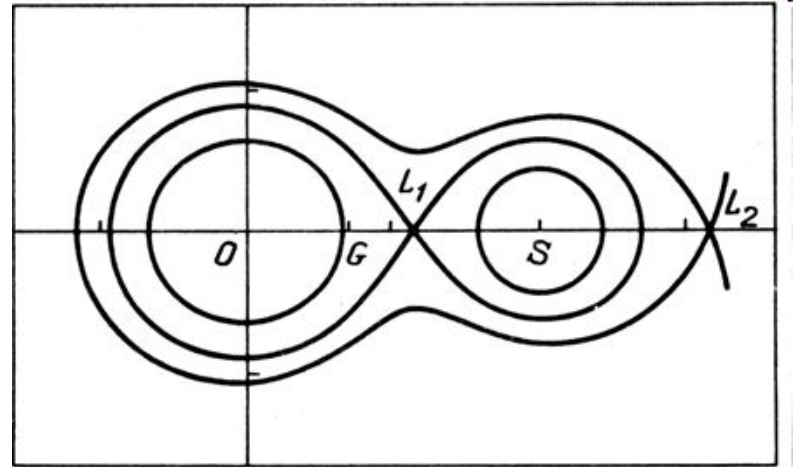
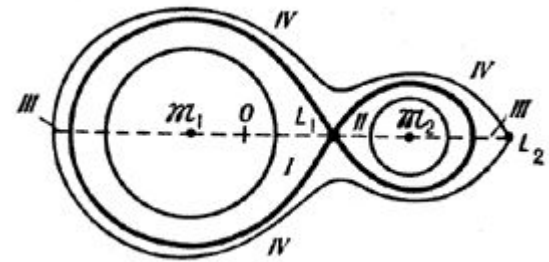
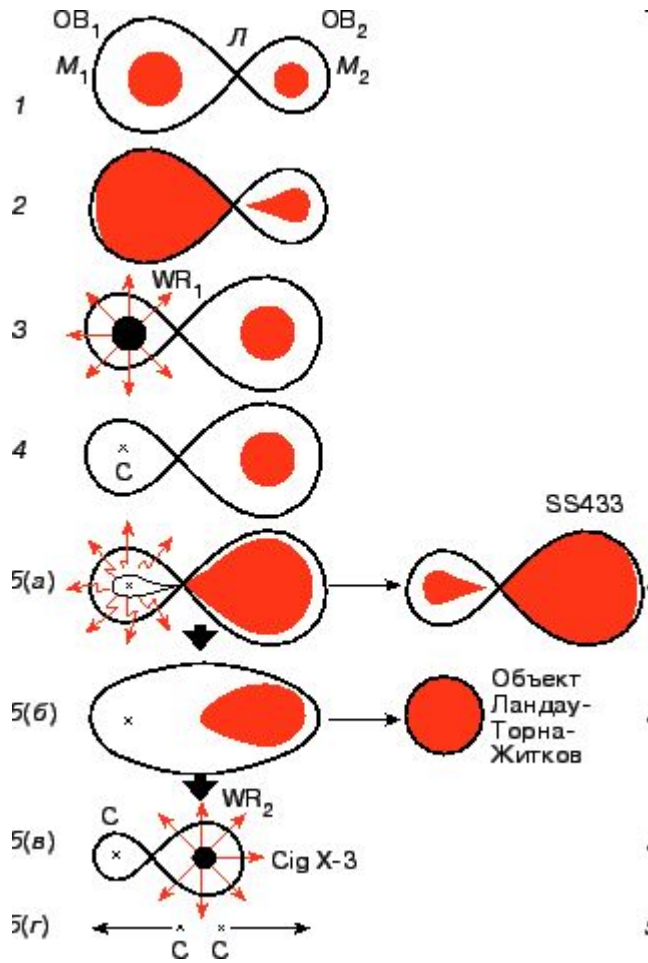
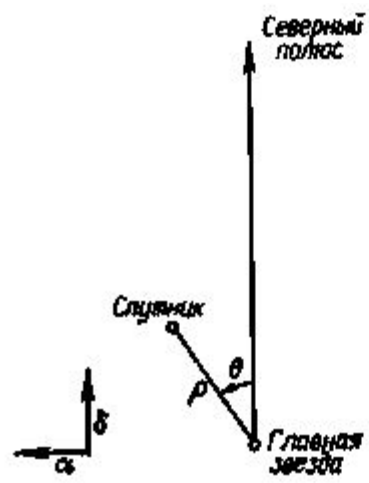


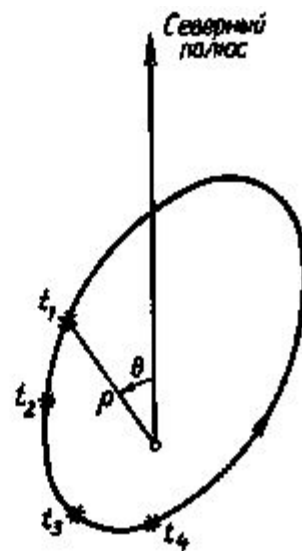
Figure 5.11 The data points show the masses of MS binary components with the given absolute magnitudes M_V . The full curve was derived by a complex procedure that takes into account both these data and the solar-neighborhood luminosity function shown in Figure 3.12 (Kroupa, Tout & Gilmore 1993). The dashed curve shows the $\mathcal{M}(M_V)$ relation for metal-weak stars. [After Kroupa, Tout & Gilmore (1993) with additional data from Henry & McCarthy (1993) and Brewer *et al.* (1993)]





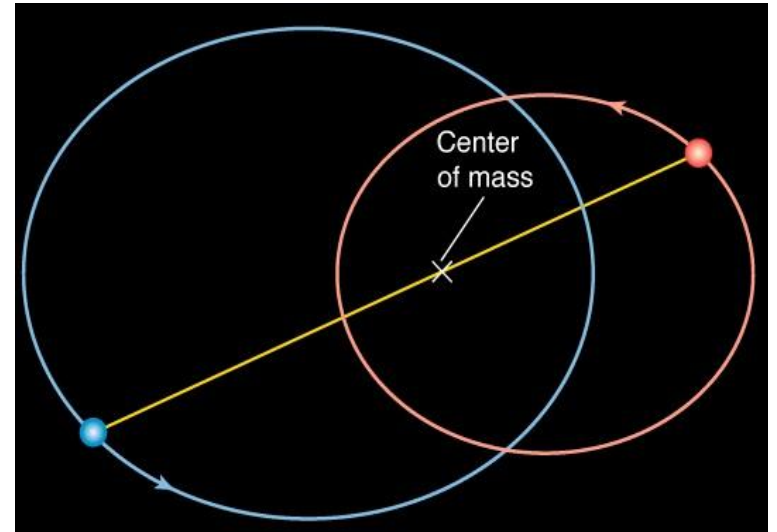


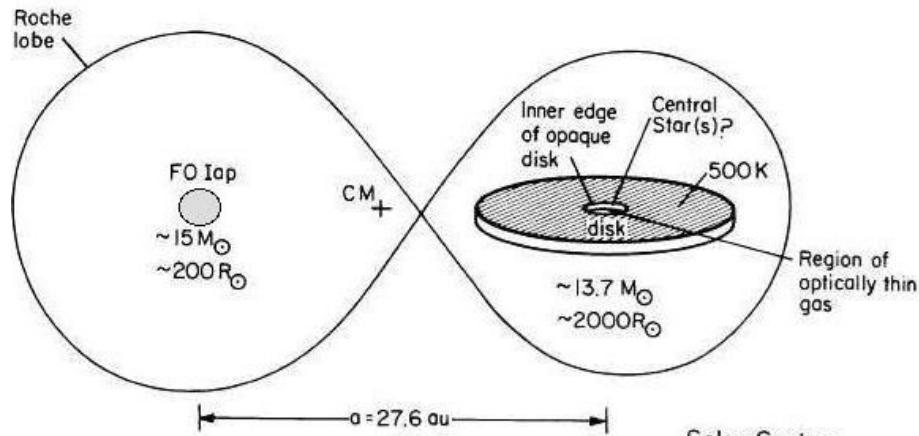
а



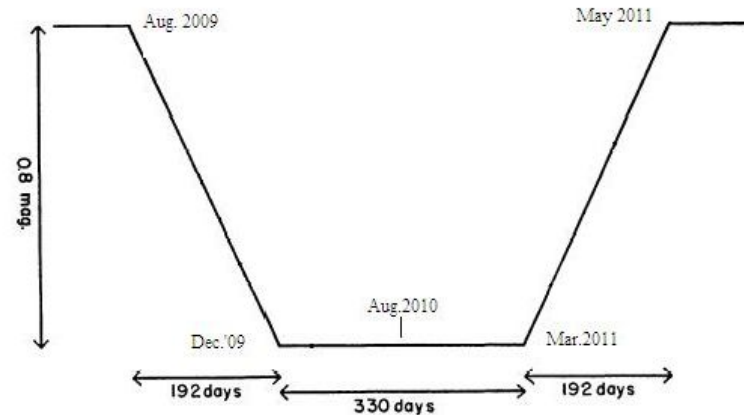
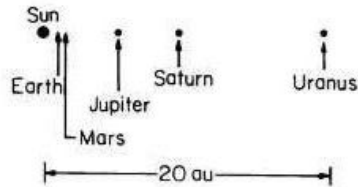
б

Двойные звезды





Solar System
(Sizes of Sun and Planets
not drawn to scale)



Schematic of the eclipse of epsilon Aurigae, adapted from Struve, 1956 PASP.
Previous, carefully studied eclipses included totality during 1983, 1956, 1930 and 1904.

2009 08 06 - начало частных фаз затмения

2009 12 21 - начало полного затмения

2010 08 01 - середина затмения

2011 03 12 - окончание полного затмения

2011 05 15 - окончание частных фаз

