

# Двойные звезды и соотношение масса-светимость



*О. Ю. Малков*

*Институт астрономии РАН*

*Физический факультет МГУ*



# Двойные звезды и начальная функция масс



*О. Ю. Малков*

*Институт астрономии РАН*

*Физический факультет МГУ*





WIKIPEDIA  
The Free Encyclopedia

- Main page
- Contents
- Featured content
- Current events
- Random article
- Donate to Wikipedia

- Interaction
  - Help
  - About Wikipedia
  - Community portal
  - Recent changes
  - Contact Wikipedia

Toolbox

Print/export

- Languages
  - Afrikaans
  - Alemannisch
  - English

Article Discussion

Read Edit View history

Search

# Astronomy

From Wikipedia, the free encyclopedia

*This article is about the scientific study of celestial objects. For other uses, see [Astronomy \(disambiguation\)](#).*

**Astronomy** is a [natural science](#) that deals with the study of [celestial objects](#) (such as [stars](#), [planets](#), [comets](#), [nebulae](#), [star clusters](#) and [galaxies](#)) and [phenomena](#) that originate outside the [Earth's atmosphere](#) (such as the [cosmic background radiation](#)). It is concerned with the evolution, [physics](#), [chemistry](#), [meteorology](#), and [motion](#) of celestial objects, as well as the [formation and development of the universe](#).

Astronomy is one of the oldest sciences. Prehistoric cultures left behind astronomical artifacts such as the [Egyptian monuments](#) and [Stonehenge](#), and early civilizations such as the [Babylonians](#), [Greeks](#), [Chinese](#), [Indians](#), and [Maya](#) performed methodical observations of the [night sky](#). However, the invention of the [telescope](#) was required before astronomy was able to develop into a modern science. Historically, astronomy has included disciplines as diverse as [astrometry](#), [celestial navigation](#), observational astronomy, the making of [calendars](#), and even [astrology](#), but professional astronomy is nowadays often considered to be synonymous with [astrophysics](#).

During the 20th century, the field of professional astronomy split into [observational](#) and theoretical branches. Observational astronomy is focused on acquiring data from observations of celestial objects, which is then analyzed using basic principles of physics. Theoretical astronomy is oriented towards the development of computer or analytical models to describe astronomical objects and phenomena. The two fields complement each other, with theoretical astronomy seeking to explain the observational results, and observations being used to confirm theoretical results.

*Amateur astronomers* have contributed to many important astronomical discoveries, and astronomy is one of the few sciences where



A giant Hubble mosaic of the [Crab Nebula](#), a [supernova remnant](#)

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Azərbaycanca</li> <li>Bamanankan</li> <li>অসমীয়া</li> <li>Bân-lâm-gú</li> <li>Basa Banyumasan</li> <li>Башҡортса</li> <li>Беларуская</li> <li>Беларуская (тарашкевіца)</li> <li>Boarisch</li> <li>Bosanski</li> <li>Brezhoneg</li> <li>Български</li> <li>Català</li> <li>ЧӀвашла</li> <li>Cebuano</li> <li>Česky</li> <li>Corsu</li> <li>Cymraeg</li> <li>Dansk</li> <li>Deutsch</li> <li>دۆردیجه</li> <li>Dolnoserbski</li> <li>Eesti</li> <li>Ελληνικά</li> <li>Emiliàn e rumagnòl</li> <li>Español</li> <li>Esperanto</li> <li>Estremeñu</li> <li>Euskara</li> <li>فارسی</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Lexicology             <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1 Use of terms "astronomy" and "astrophysics"</li> </ul> </li> <li>2 History             <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 Scientific revolution</li> </ul> </li> <li>3 Observational astronomy             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 Radio astronomy</li> <li>3.2 Infrared astronomy</li> <li>3.3 Optical astronomy</li> <li>3.4 Ultraviolet astronomy</li> <li>3.5 X-ray astronomy</li> <li>3.6 Gamma-ray astronomy</li> <li>3.7 Fields not based on the electromagnetic spectrum</li> <li>3.8 Astrometry and celestial mechanics</li> </ul> </li> <li>4 Theoretical astronomy</li> <li>5 Specific subfields             <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1 Solar astronomy</li> <li>5.2 Planetary science</li> <li>5.3 Stellar astronomy</li> <li>5.4 Galactic astronomy</li> <li>5.5 Extragalactic astronomy</li> <li>5.6 Cosmology</li> </ul> </li> <li>6 Interdisciplinary studies</li> <li>7 Amateur astronomy</li> <li>8 Major problems ←</li> <li>9 International Year of Astronomy 2009</li> <li>10 See also</li> <li>11 References</li> <li>12 Bibliography</li> <li>13 External links</li> </ul> |
|---|---|

## Major problems

[\[edit\]](#)

See also: *Unsolved problems in physics*

Although the scientific discipline of astronomy has made tremendous strides in understanding the nature of the universe and its contents, there remain some important unanswered questions. Answers to these may require the construction of new ground- and space-based instruments, and possibly new developments in theoretical and experimental physics.

- What is the origin of the stellar mass spectrum? That is, why do astronomers observe the same distribution of stellar masses – the [initial mass function](#) – apparently regardless of the initial conditions?<sup>[83]</sup> A deeper understanding of the formation of stars and planets is needed.
- Is there other [life in the Universe](#)? Especially, is there other intelligent life? If so, what is the explanation for the [Fermi paradox](#)? The existence of life elsewhere has important scientific and philosophical implications.<sup>[84][85]</sup> Is the Solar System normal or atypical?
- What caused the Universe to form? Is the premise of the [Fine-tuned universe](#) hypothesis correct? If so, could this be the result of [cosmological natural selection](#)? What caused the [cosmic inflation](#) that produced our homogeneous universe? Why is there a [baryon asymmetry](#)?
- What is the nature of [dark matter](#) and [dark energy](#)? These dominate the evolution and fate of the cosmos, yet their true nature remains unknown.<sup>[86]</sup> What will be the [ultimate fate of the universe](#)?<sup>[87]</sup>
- How did the first galaxies form? How did supermassive black holes form?
- What is creating the [ultra-high-energy cosmic rays](#)?

# План лекции

- Введение
- Двойные звезды
- Соотношение масса-светимость
- Функция светимости
- Начальная функция масс
- Заключение

# Введение

Фундаментальной проблемой звездообразования и звездной эволюции является вопрос о массах образующихся звезд. Поскольку эволюция звезды определяется, в основном, ее начальной массой, то распределение по массам звезд, образующихся в данном месте и в данное время (начальная функция масс, НФМ), является ключевым вопросом для понимания строения и эволюции звездных систем.

# Начальная функция масс

- описывает процесс рождения звезд
- определяет эволюцию диаграммы ГР и интегральных величин звездной системы

Начальная функция масс и скорость звездообразования определяют историю звездообразования

$$C(t,m) = b(t)f(m)$$

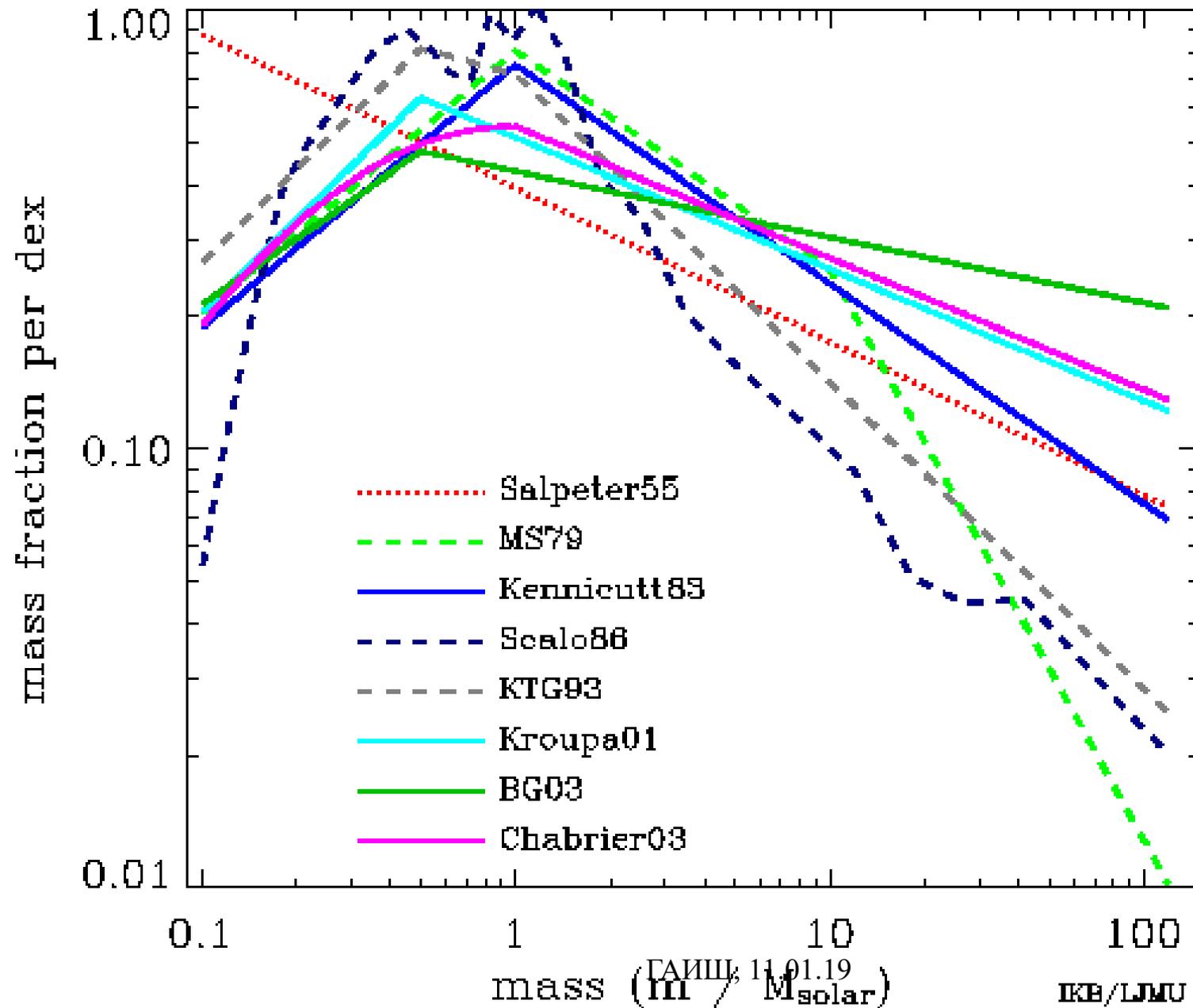
# Получение НФМ звезд поля

Практически невозможно производить прямые подсчеты звезд в интервале  $[m, m+dm]$ , так как массы более или менее надежно известны только для компонентов некоторых типов двойных.

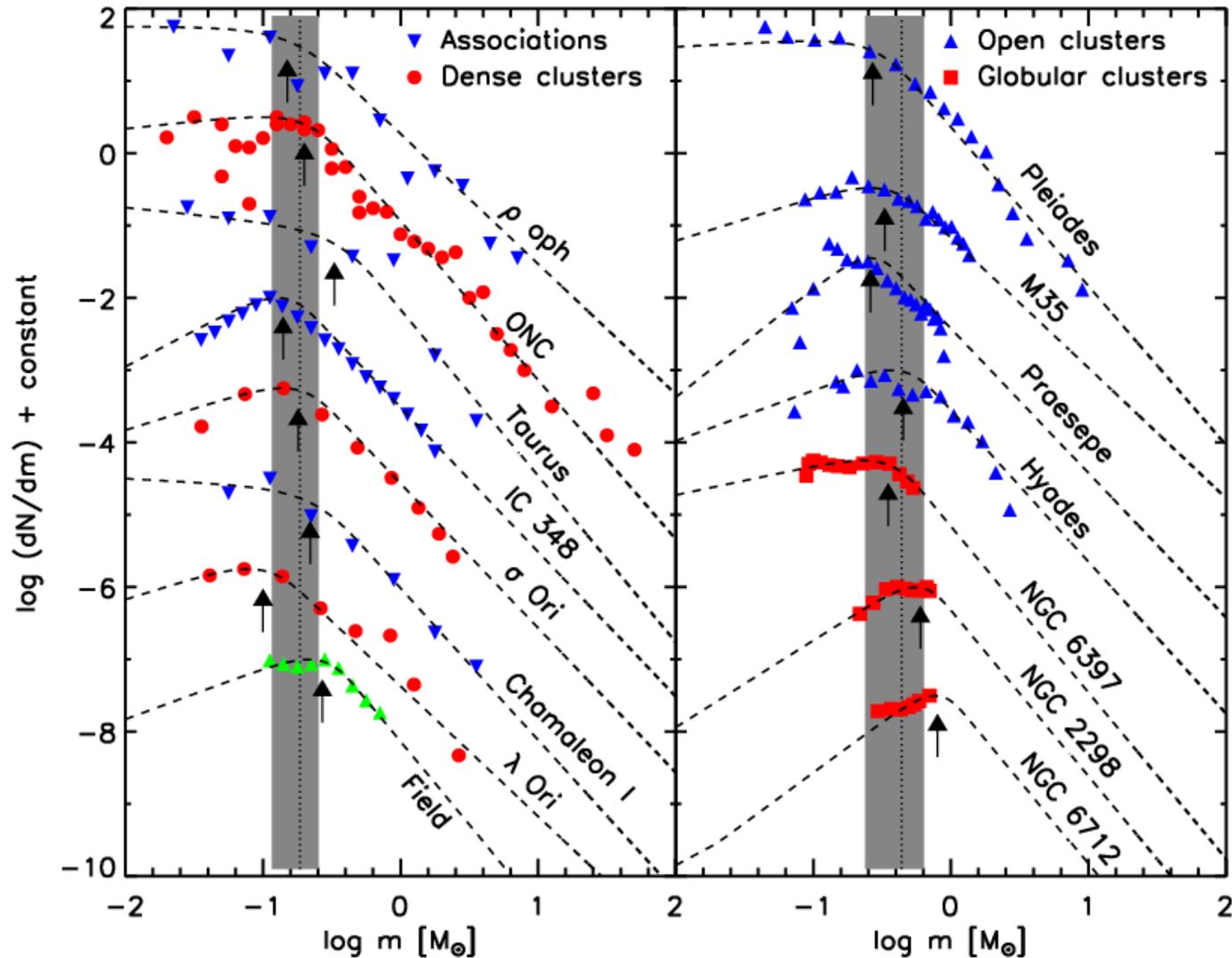
- Современная функция светимости
- Соотношение масса-светимость
- Современная функция масс
- Начальная функция масс

Salpeter (1955):  $f(m) \sim m^{-2.35}$   $[0.4 < m < 10]$

# Stellar Initial Mass Functions



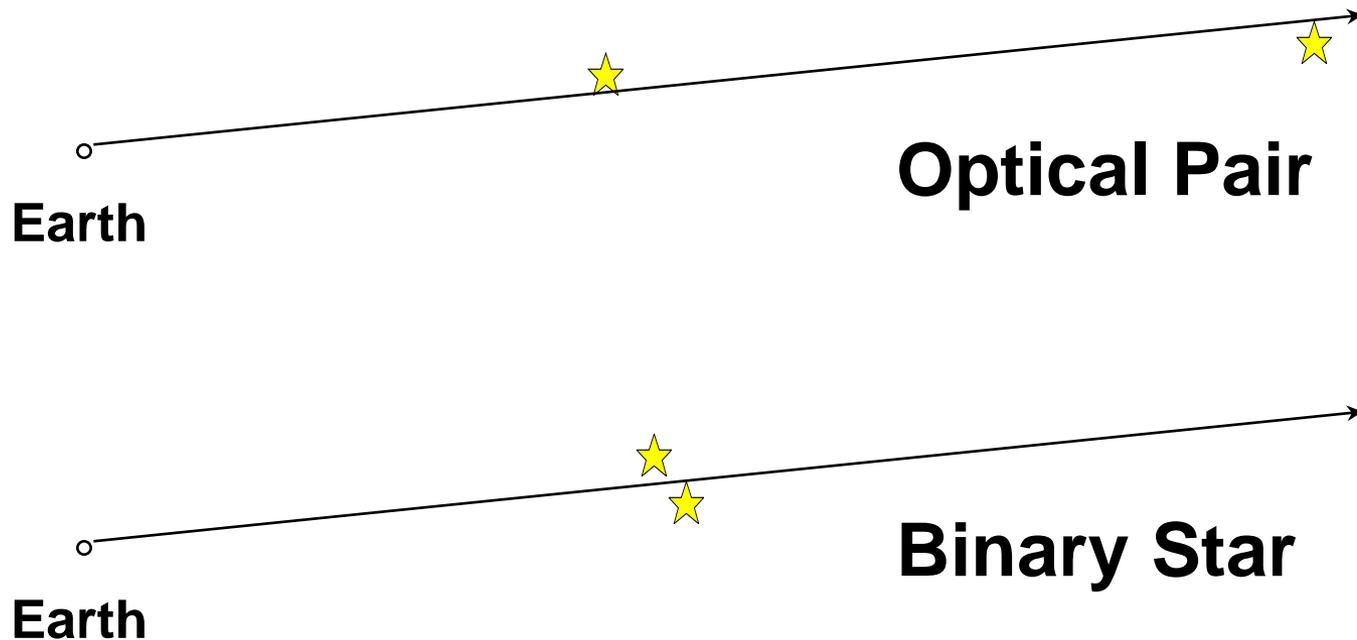
# Is IMF universal?



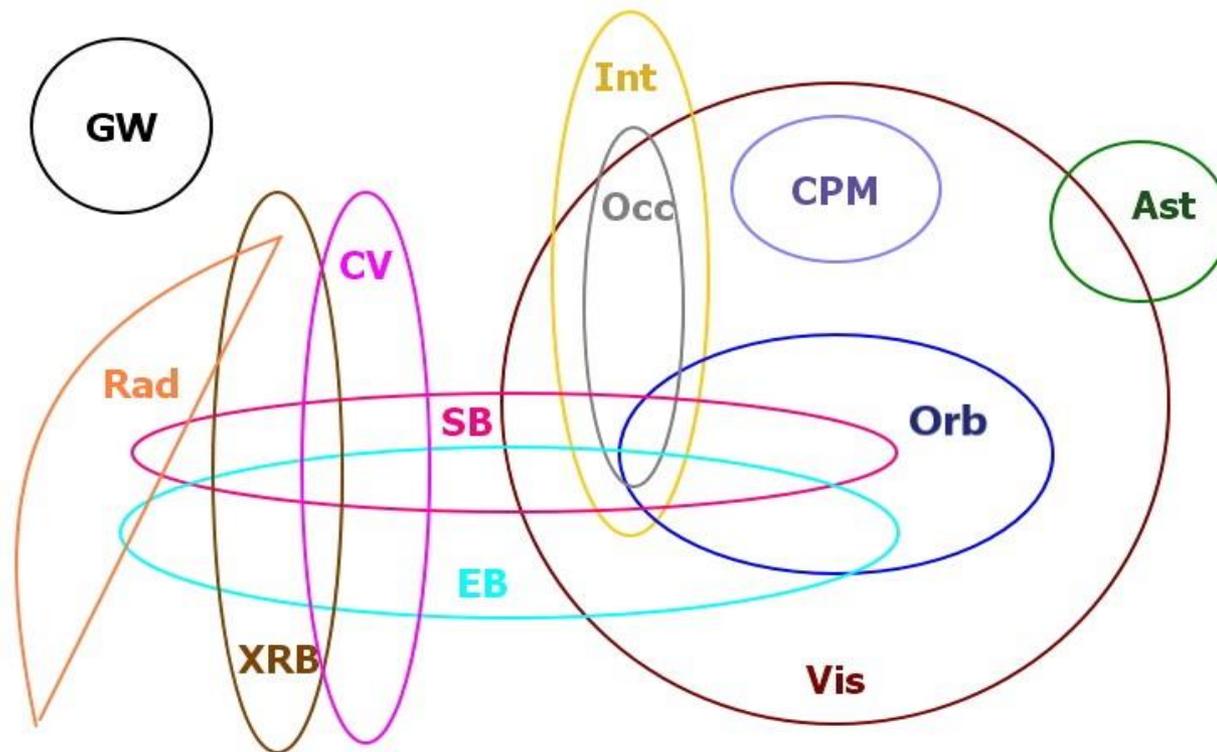
# Двойные звезды

1. Многочисленны (>90% звезд входит в состав двойных и кратных систем)
2. Важны для определения фундаментальных параметров звезд
3. Обладают разнообразными наблюдательными проявлениями

# Double stars = binary stars + optical pairs



# Наблюдательные типы двойных звезд

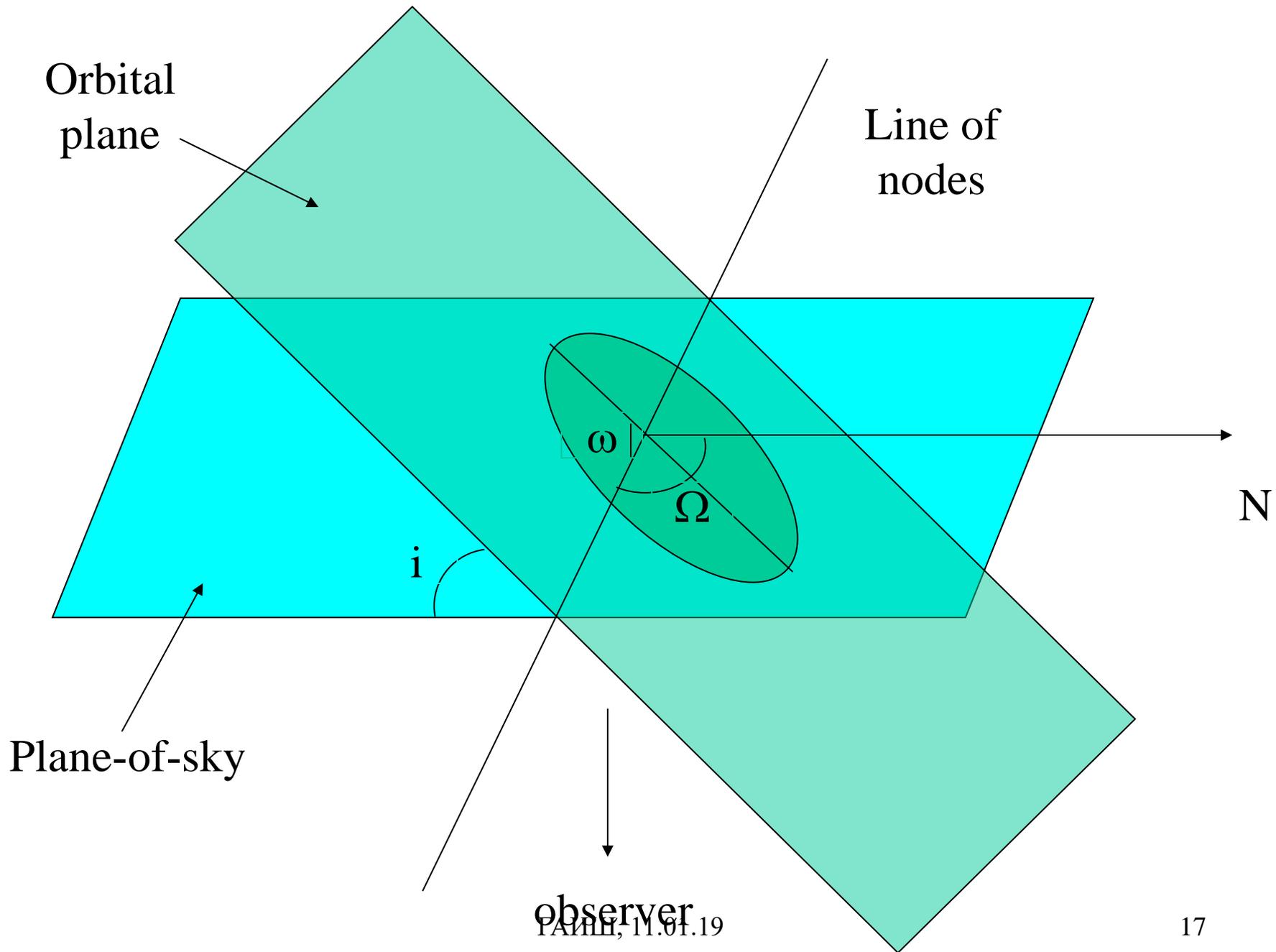


# Orbital elements of a binary system should define:

- the size and form of the true orbit ( $a$ ,  $e$ );
- the position of the companion in the orbit at any specified time ( $T$ ,  $P$ );
- the position of the orbit plane ( $i$ ,  $\Omega$ );
- the position of the orbit within that plane ( $\omega$ ).

# Orbital elements

- $a$  is the semi-major axis (in km,  $R_{\text{sun}}$ , AU, ").
- $e$  is the eccentricity (from 0 to 1).
- $P$  is the period of revolution (in days, years).
- $T$  is the time of periastron passage.
- $i$  is the orbital inclination, i.e., the angle between the true orbit plane and the plane-of-sky (from 0 to  $\pm 90$  degree).
- $\Omega$  is the longitude of ascending node, i.e., the positional angle (measured in the plane-of-sky) of the ascending node, or the positional angle of the line of nodes (from 0 to 180 degree).
- $\omega$  is the argument of periastron, i.e., the angular distance (measured in the orbital plane) between the line of nodes and periastron in the direction of the motion of the component (from 0 to 360 degree).



# Угловые орбитальные элементы (элементы Кэмпбелла)

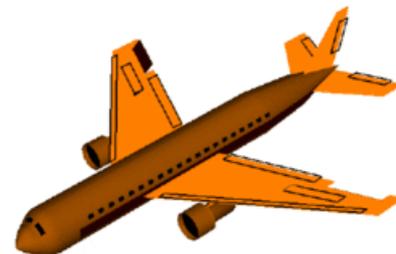
	От чего отсчитывается	К чему отсчитывается	Направление отсчета	Диапазон значений
Наклон орбиты, $i$	От картинной плоскости	К плоскости орбиты	В направлении минимального угла наклона	$\pm 90^\circ$
Позиционный угол, $\Omega$	От северного полюса мира	К линии узлов (восходящему узлу)	В направлении ближайшего узла	$0^\circ - 180^\circ$
Долгота периастра, $\omega$	От восходящего узла	К периастру	В направлении движения компонента	$0^\circ - 360^\circ$

# Аналогия: ориентация самолета / судна

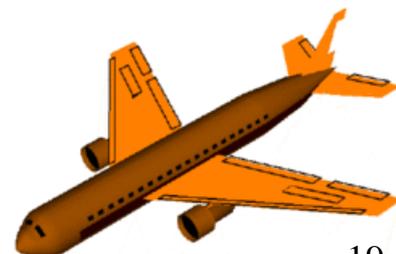
- Угол тангажа (килевая качка): наклон орбиты  $i$



- Угол крена: позиционный угол  $\Omega$



- Угол курса (угол рысканья): долгота периастра  $\omega$



# Derivable orbital elements and fundamental stellar parameters

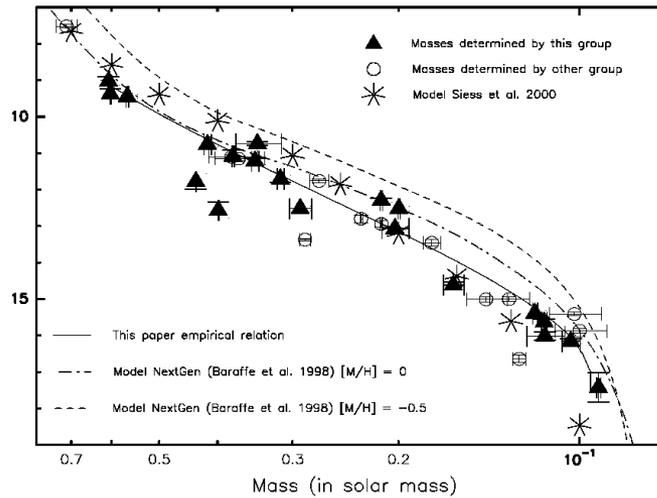
	orbital	spectroscopic	eclipsing
a	$a \pi$	$a_1 \sin i$ [SB1], $a \sin i$ [SB2]	no
i	yes	no	yes
$\Omega$	$+180^\circ?$	no	no
m	$\pi^3 \Sigma m$	$f(m)$ [SB1], $m \sin^3 i$ [SB2]	no
R	no	no	$R_i/a$

e, P, T,  $\omega$  are derived for all three types of binaries

# Соотношение масса-светимость

- Для определения НФМ необходимо знать производную СМС:  
$$dN/ d \log (\text{mass}) = dN/ dM_V * dM_V/ d \log (\text{mass})$$
- Эмпирические СМС конструируются по данным о визуальных двойных с известными параллаксами (до  $m \sim 1.5$ ) и о спектроскопических двойных с затмениями (свыше  $m \sim 1$ ).  
Таких звезд с приемлемым качеством данных 100-150.
- Теоретические СМС согласуются с эмпирическими и используются, как правило, для исследования влияния различных эффектов.

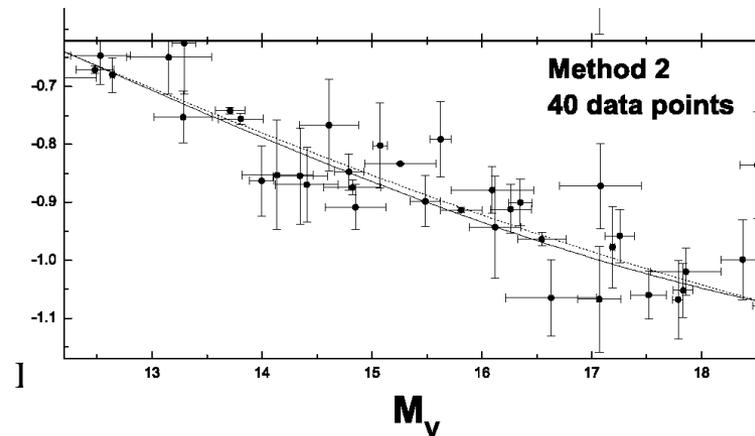
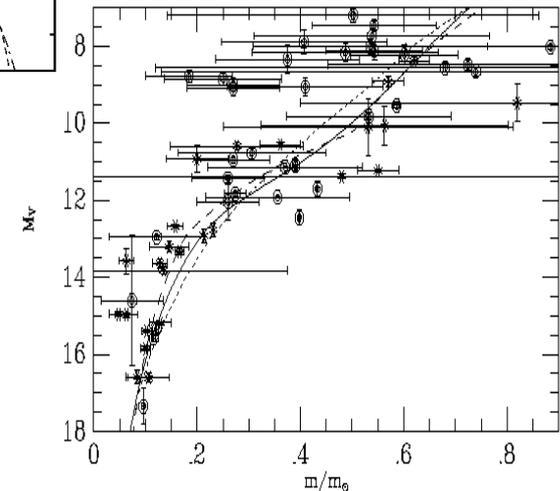
- Данные о компонентах двойных с приемлемой точностью (всего известно ~60)



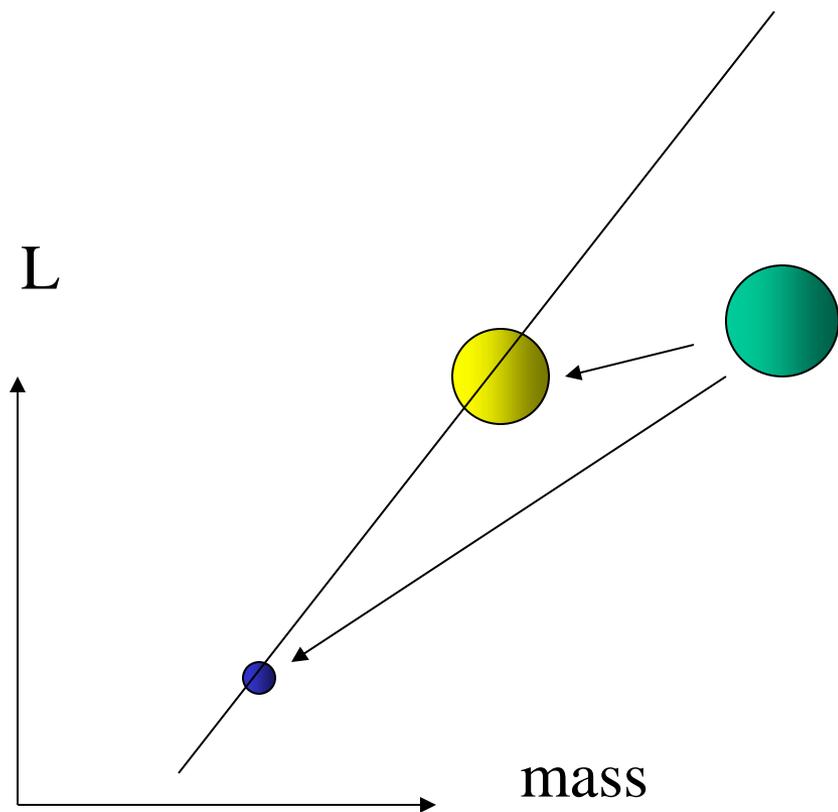
- Современные знания о СМС маломассивных слабых звезд не позволяют делать выводы о поведении НФМ в этом диапазоне

СМС

звезд



Объяснение отклонений от СМС:  
некоторые компоненты систем являются, в  
свою очередь, неразрешенными двойными

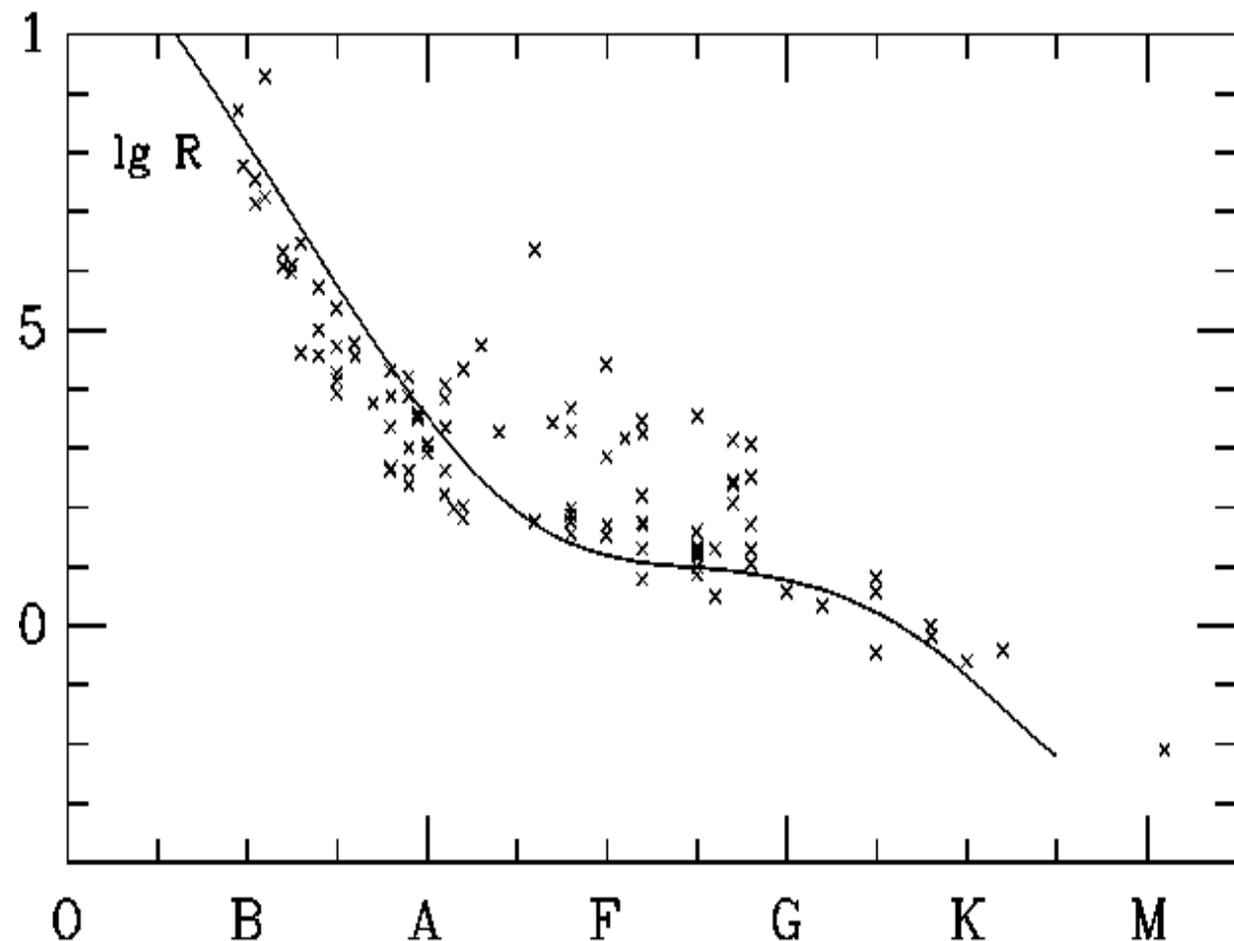


Заниженная (для данной  
массы) светимость звезды  
может объясняться  
неразрешенной  
двойственностью.

# СМС звезд умеренных масс

- При объединении данных о компонентах затменных спектроскопических двойных с данными о (преимущественно менее массивных) компонентах визуальных двойных обычно делается естественное предположение о схожести эволюции и физических характеристик этих двух типов систем.

# Радиусы изолированных звезд и компонентов затменных двойных

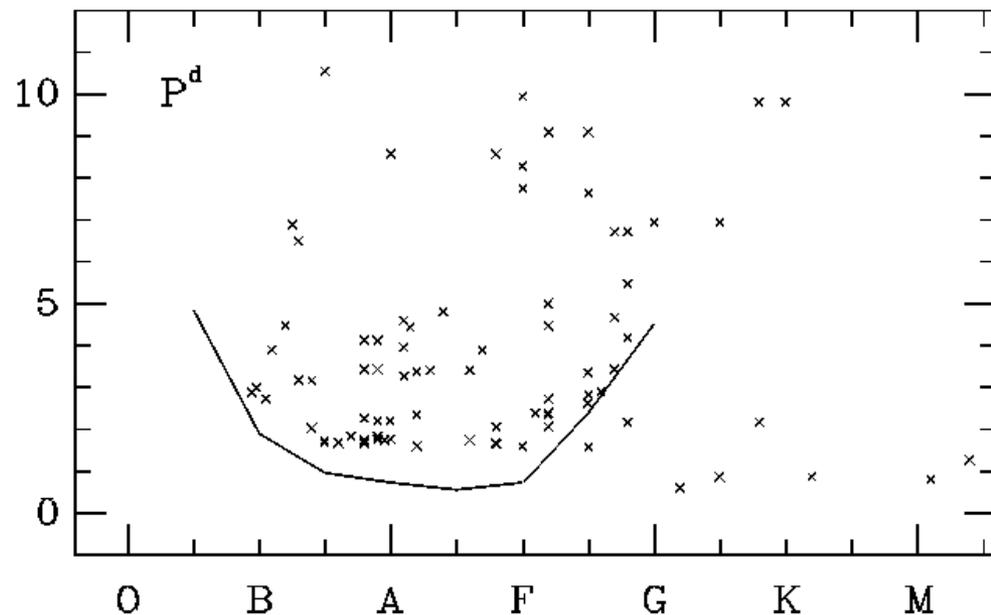


**линия:** радиусы одиночных звезд ГП из каталога (CADARS, 3rd edition, *Pasinetti-Fracassini et al. 2001*), определенные фотометрическими методами. 3500 звезд (аппроксимировано сплайном).

**точки:** радиусы затменных двойных РГП из Каталога астрофизических параметров (*Малков 1993*), 114 компонентов.

# Изолированные А-Г звезды ГП имеют меньшие радиусы (и/или меньшие $T_{\text{eff}}$ ), чем компоненты затменных двойных

- Звезды ранних спектральных классов вращаются быстро; компоненты тесных двойных синхронизованы. Скорость вращения влияет на эволюцию.
- Эффект селекции: преимущественная ориентация компонентов двойных.

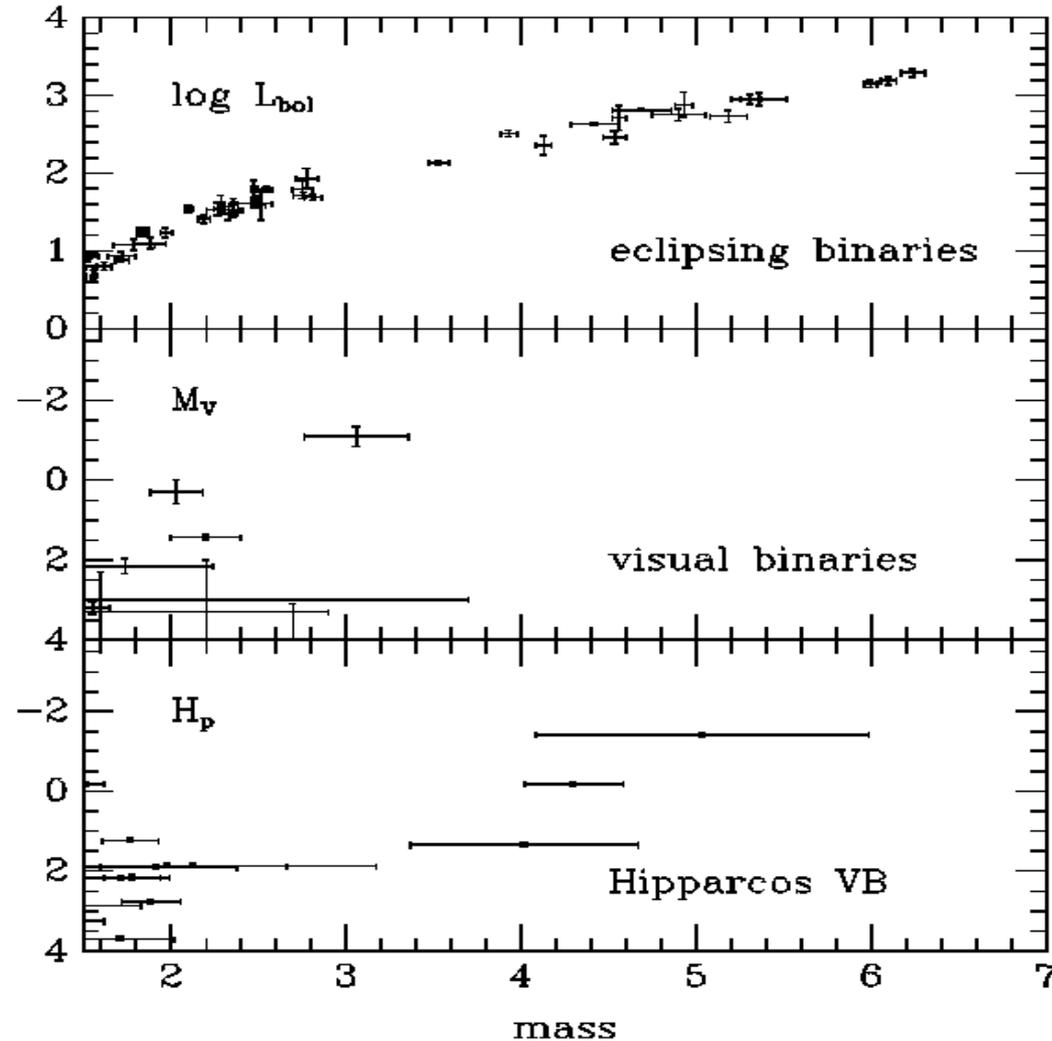


Линия - периоды вращения одиночных звезд, точки - периоды обращения компонентов тесных двойных

Изолированные В звезды ГП имеют, в среднем, на 20% большие радиусы, чем компоненты затменных двойных

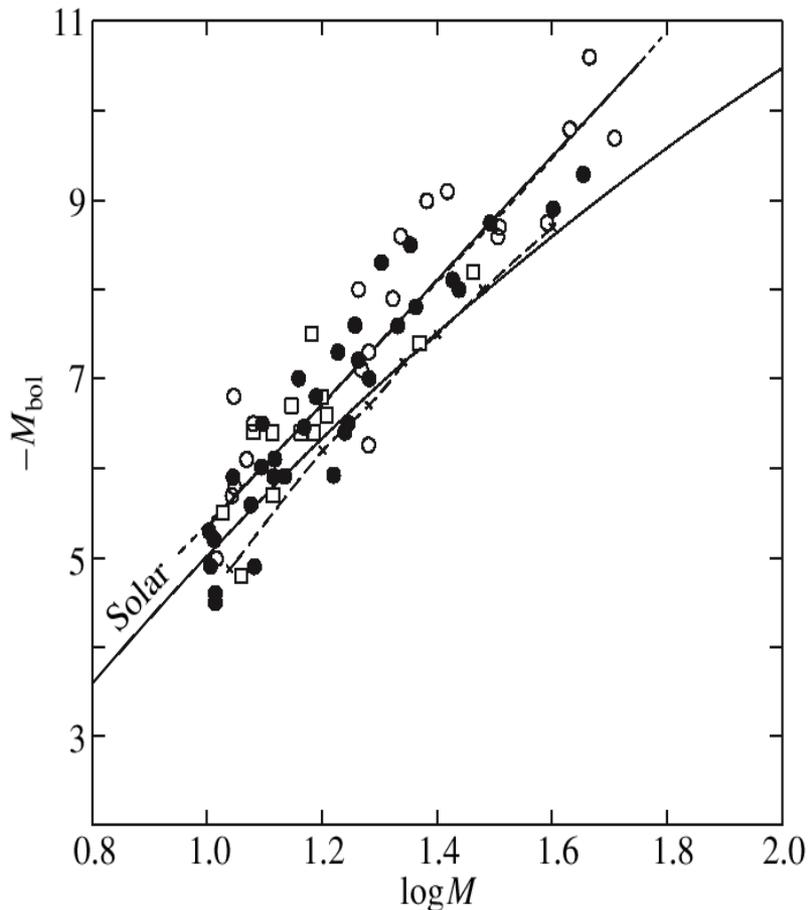
- Относительно небольшое увеличение радиуса (в процессе эволюции) В-компонента тесной двойной приводит к заполнению полости Роша и приостанавливает дальнейший рост, а также исключает звезду из статистики разделенных систем.
- Системы же достаточно «широкие», чтобы сохранить разделенный статус, имеют меньшую вероятность открытия

# СМС звезд умеренных масс



- Данные о затменных двойных не могут быть использованы для получения НФМ одиночных звезд
- Требуется ревизия НФМ в диапазоне масс  $1.5-7 m_{\odot}$

# СМС массивных звезд



- Каталог Витриченко и др. (2007) содержит 31 звезду с массой  $> 10 m_{\odot}$
- Параллаксы (кроме  $\alpha$  Vir) неизвестны
- Точность параметров: масса – 10%, звездная величина – 0.1 m

# Заключение: преждевременно делать вывод о форме НФМ, поскольку популяция двойных звезд изучена недостаточно

- Современные знания о СМС самых слабых и самых ярких звезд не позволяют делать определенные выводы о поведении НФМ в этих диапазонах.
- НФМ для умеренных масс требует ревизии, т.к. компоненты тесных двойных не могут служить материалом для конструирования СМС изолированных звезд.

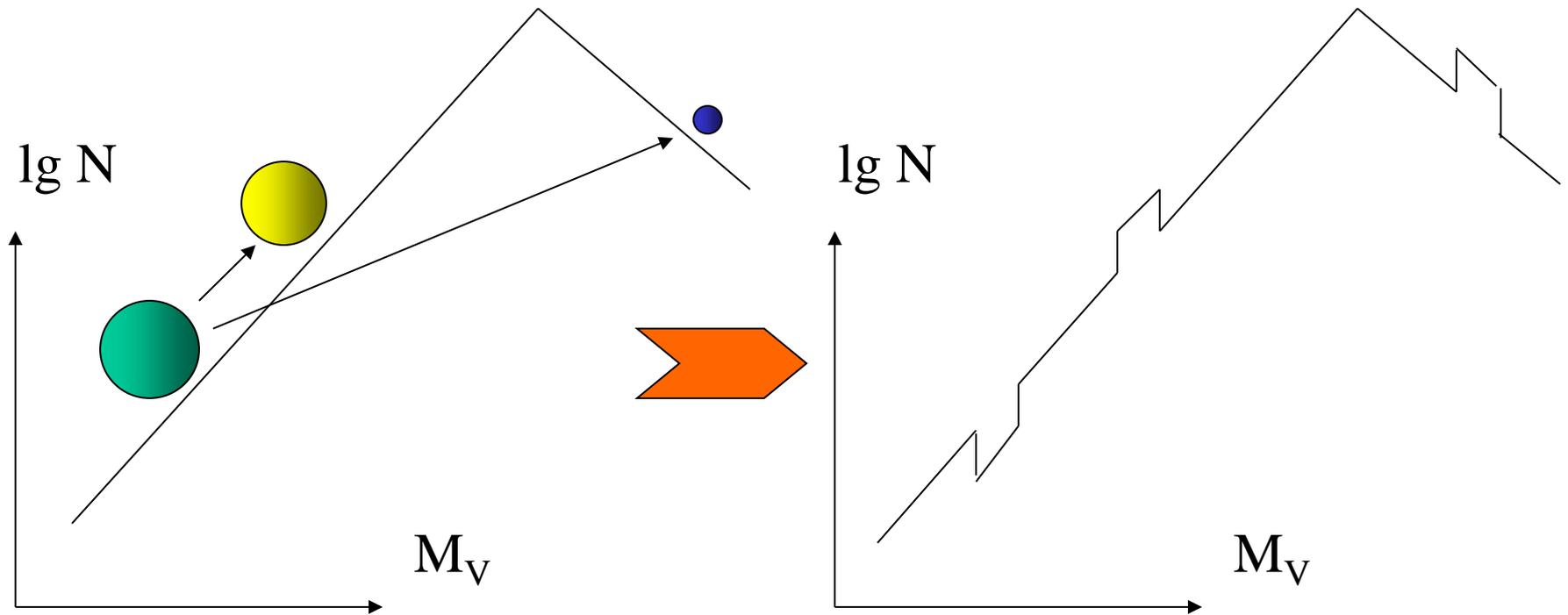
# Функция светимости

- Локальная ФС – определяется по данным о звездах на расстояниях 5-20 парсек от Солнца на основании их параллаксов.
- Фотометрическая ФС – определяется по глубоким звездным подсчетам в обзорах; типичные расстояния – 100-200 парсек.

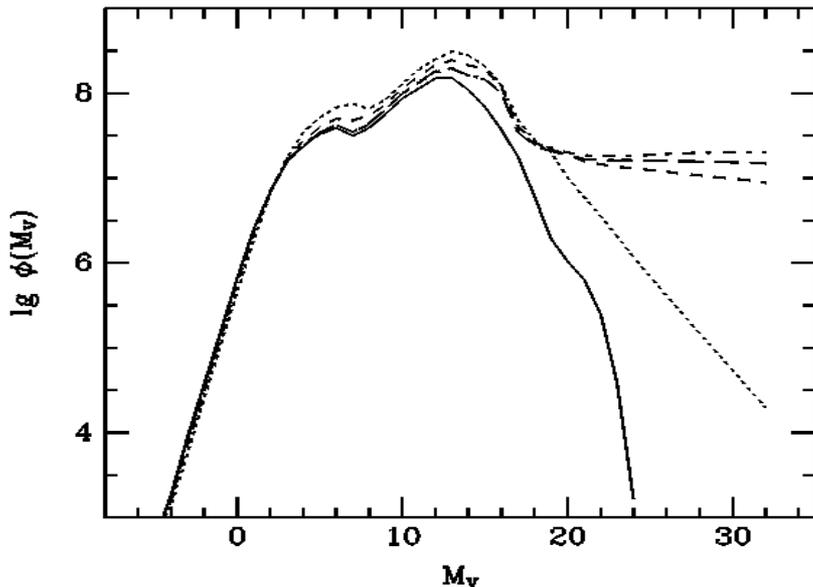
# Для дальнейшего преобразования ФС в НФМ необходимо

- учесть неполноту наблюдательных данных (для локальной ФС);
- оценить (статистически) долю звезд ГП в данном ансамбле;
- учесть поглощение в межзвездной среде (для фотометрической ФС);
- учесть искажение формы ФС из-за наличия в статистике фотометрически неразрешенных двойных систем.

# Эффект неразрешенных двойных



# Функция светимости и неразрешенные двойные



Сплошная линия - наблюдаемая ФС, другие линии - ФС, исправленные за неразрешенные двойные с различными распределениями систем по отношению масс компонентов.

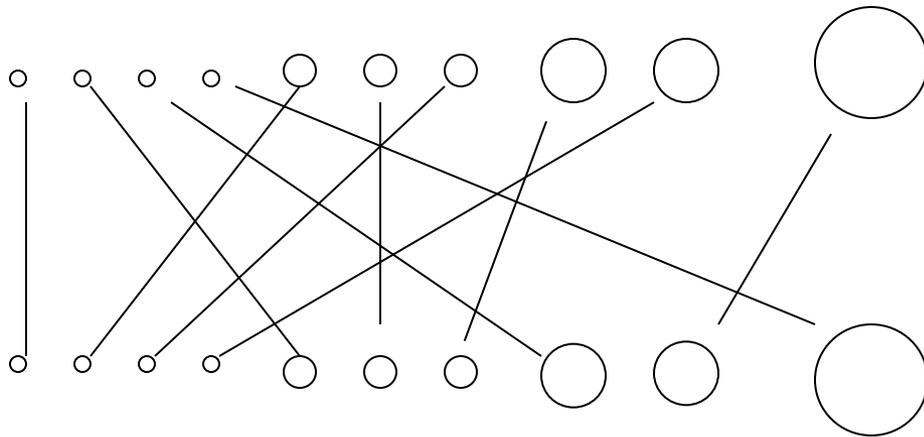
Не только фотометрическая ФС, но и локальная ФС подвержена влиянию эффекта неразрешенных двойных

# Влияние двойственности звезд на точность определения начальной функции масс

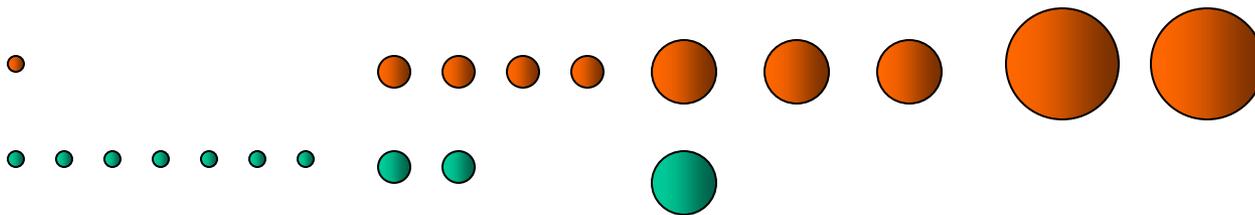
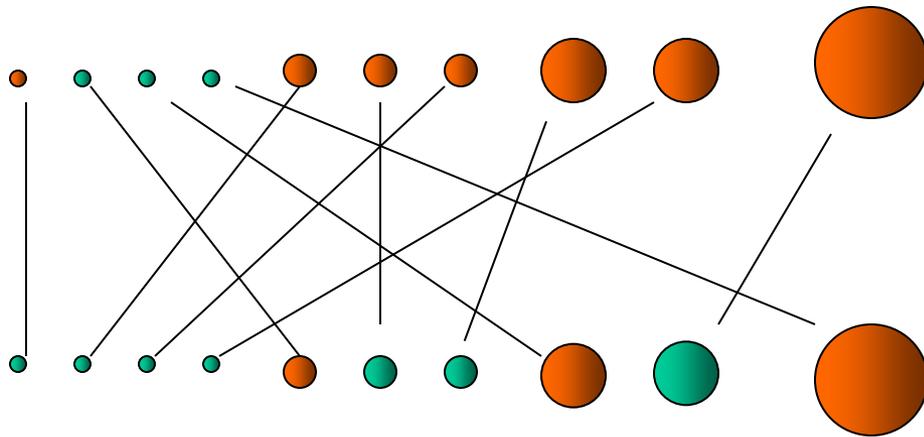
# Состав наблюдаемого звездного ансамбля

- Первичные компоненты
- Вторичные компоненты
- Фотометрически неразрешенные двойные
- Одиночные звезды

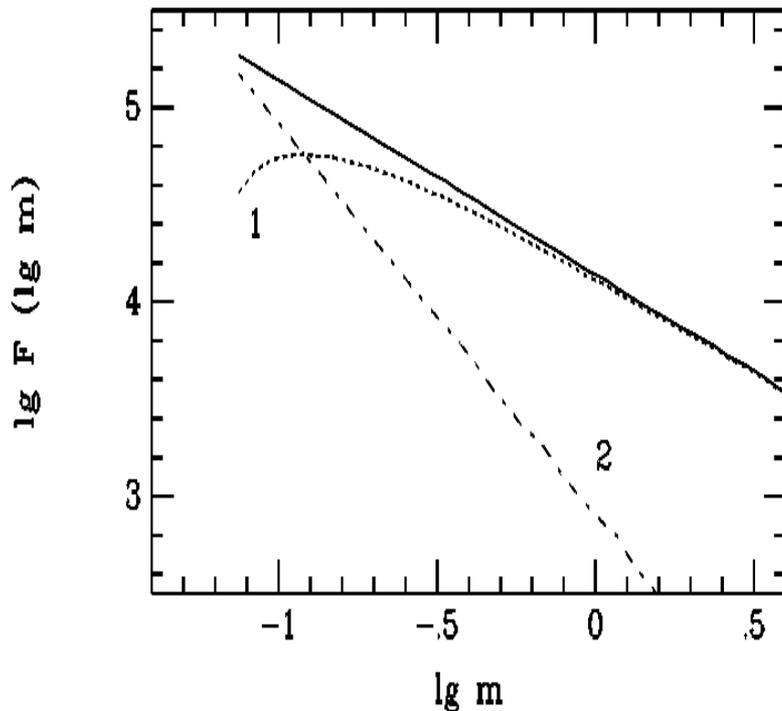
# Моделирование НФМ компонентов



# Моделирование НФМ компонентов



# НФМ КОМПОНЕНТОВ ДВОЙНЫХ



Распределение по массам главных (линия 1) и вторичных (линия 2) компонентов двойных, образованных независимым выбором двух звезд из исходной степенной НФМ с постоянным наклоном (сплошная линия). Более крутая форма линии 2 объясняется почти полным отсутствием массивных звезд среди вторичных компонентов (все массивные звезды стали главными в своих парах). Аналогично, загиб линии 1 для малых масс - следствие отсутствия маломассивных главных компонентов.

Resume: to make definite conclusions of the IMF shape, it is necessary to study binary population well enough to...

- Correct the luminosity function for unresolved binaries,
- Construct the mass-luminosity relation, (in particular, of intermediate stellar masses) based on **wide** binaries data,
- Studying the observational IMF, separate mass functions of primaries, of secondaries, of unresolved binaries, and the fundamental IMF<sub>40</sub>

$\beta$  Cyg



Почему желтый компонент ярче голубого?

ГАИШ, 11.01.19

# Возможные причины

- Звезды имеют различный класс светимости
- Наблюдения ведутся с фильтром и/или вообще не в оптике
- Нестандартное и/или сильное поглощение
- Оптическая пара

# Albireo: A Bright and Beautiful Double

Sometimes, even a small telescope can help unlock a hidden beauty of the heavens. Such is the case of the bright double star Albireo. Seen at even slight magnification, Albireo unfolds from a bright single point into a beautiful double star of strikingly different colors. At 380 light years distant, the two bright stars of Albireo are comparatively far from each other and take over 7000 years to complete a single orbit.

**The brighter yellow star is itself a binary star system, but too close together to be resolved even with a telescope.**

Albireo, pictured above, is the second brightest star system toward the constellation of the Swan (Cygnus) and easily visible to the unaided eye.

# Literature

- Kroupa, Pavel; Jerabkova, Tereza, *The Impact of Binaries on the Stellar Initial Mass Function*, 2018arXiv180610605K
- Malkov, O. Yu., *Binary Systems and the Initial Mass Function*, 2017ASPC..511...59M