

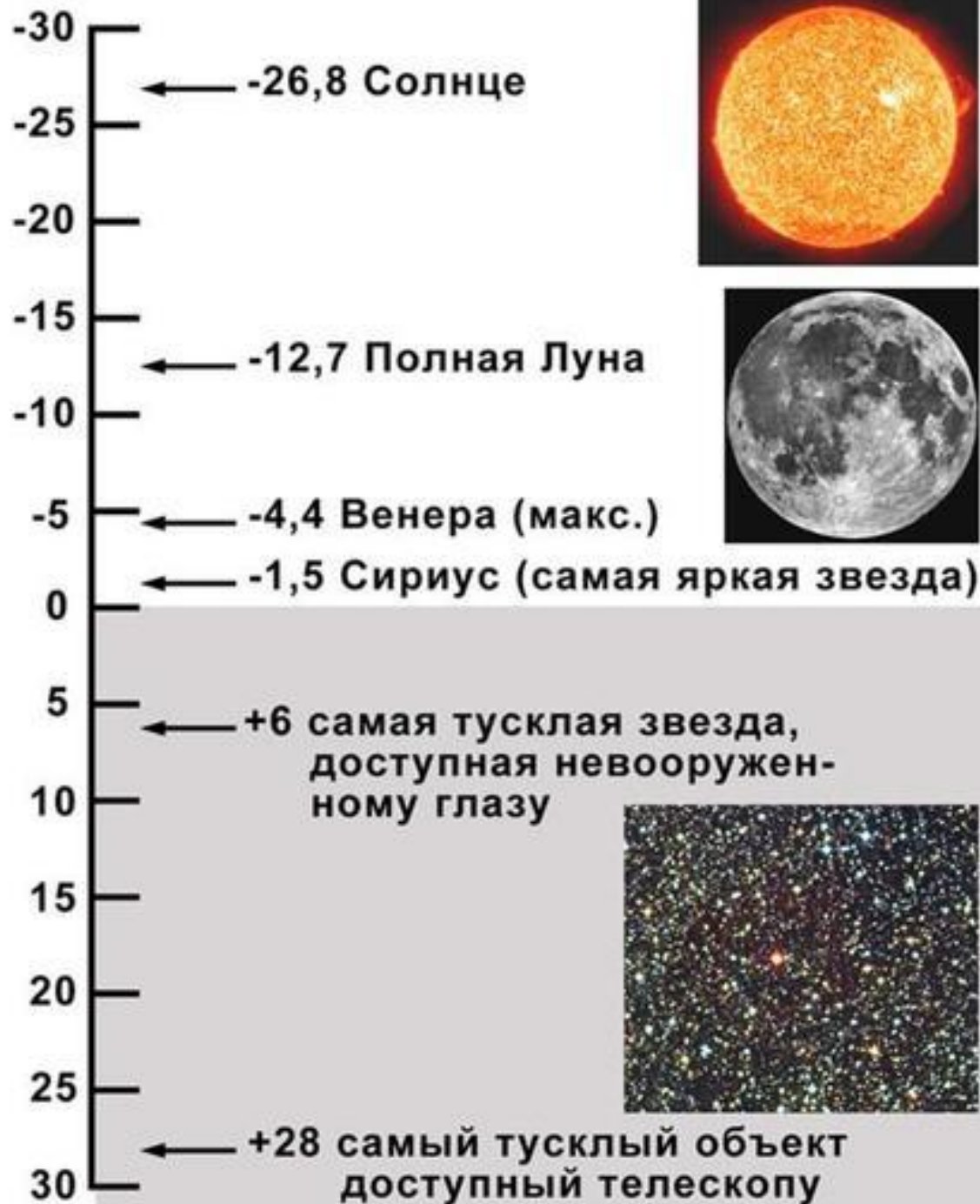
II Петербургский астрономический фестиваль

Шаровые звездные скопления



Семенец Николай 16.11.2019г, СПАГО, г.Санкт-Петербург

Звездные величины



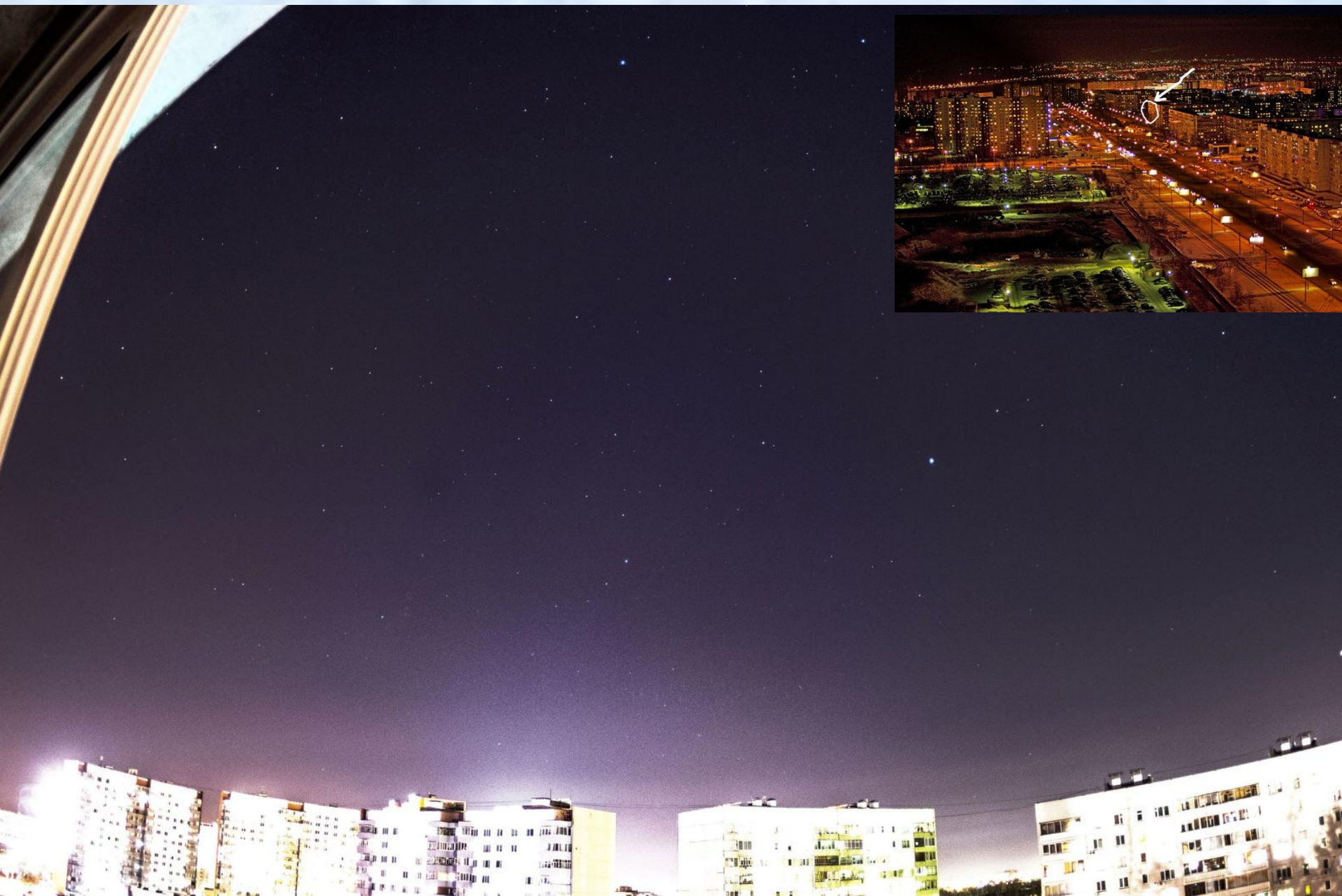
Поверхностная яркость
ночного неба в зените
вдали от городов

22,5 - 23 m /кв.сек

13,5 - 14 m /кв.мин



Городское небо





Рева Михаил

ЛенОбласть, февраль 2015г

Canon 5d2 + samyang 24 f2,8 20s iso3200
панорама из 5 вертикальных кадров



Рева Михаил

на берегу Эльбрусского озера(высота 3300).
На поверхности воды отражаются яркие звезды и метеор Персеид.
Самый яркий объект на кадре - Марс (-2.6mag)

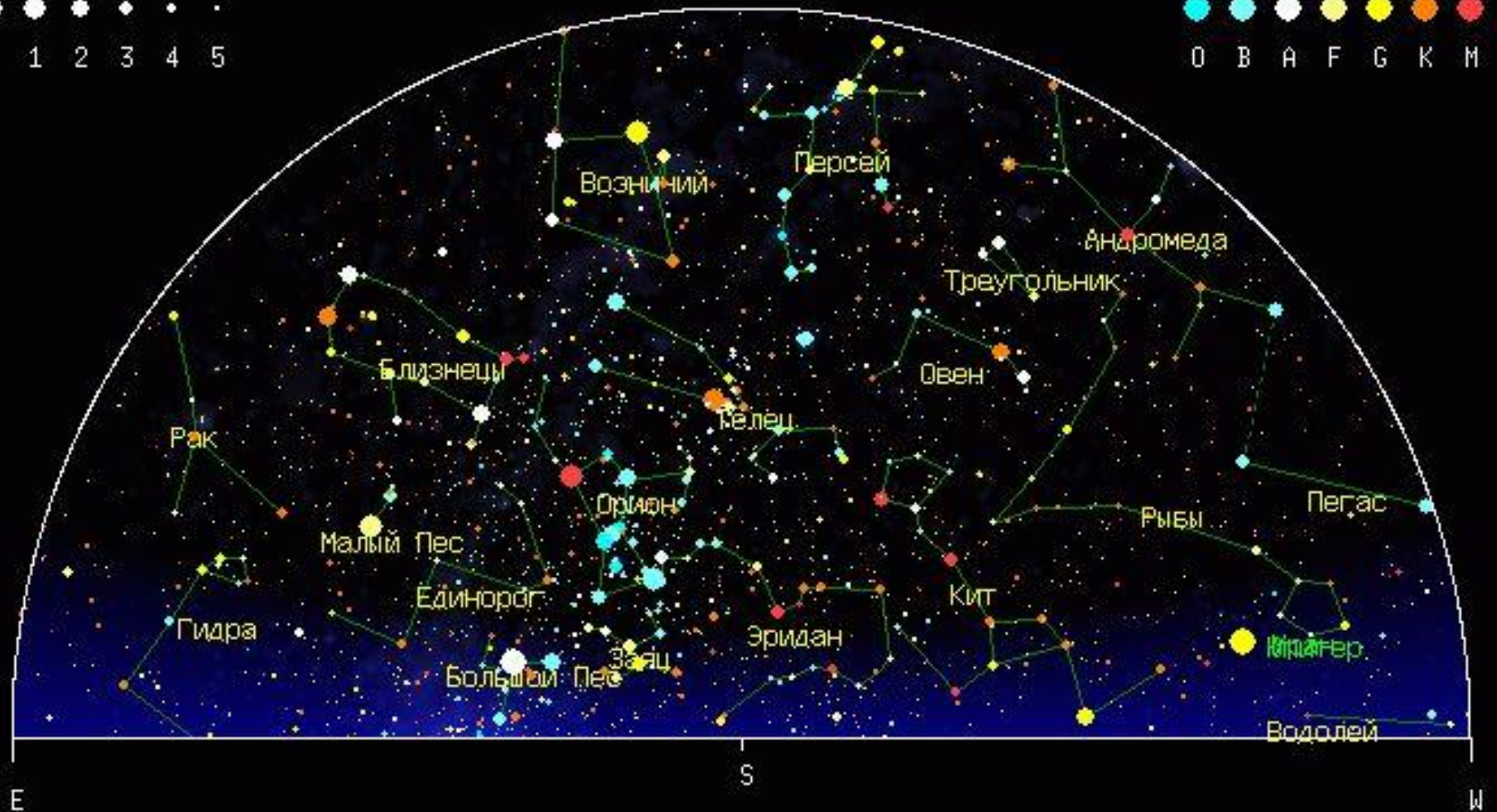
Canon6d + samyang 24mm f2,0 iso 5000 20s небо, f1.4 30s земля

Карта звездного неба

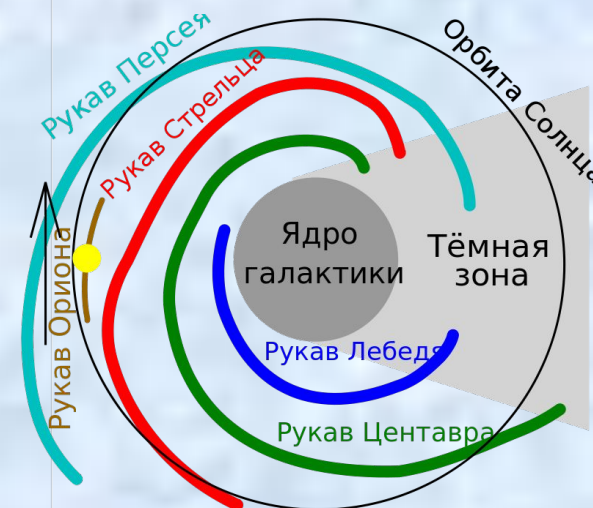
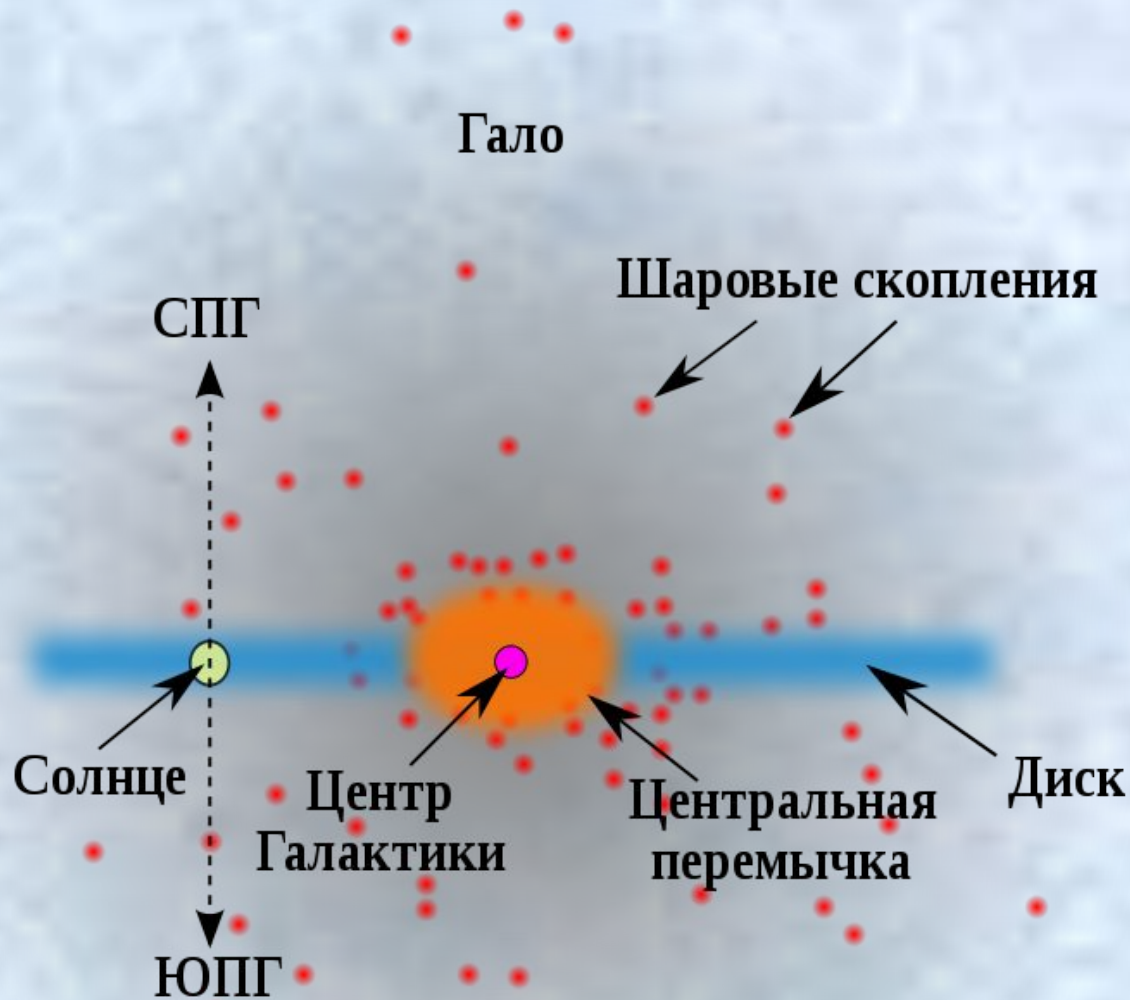
Звездные величины



Спектральные классы



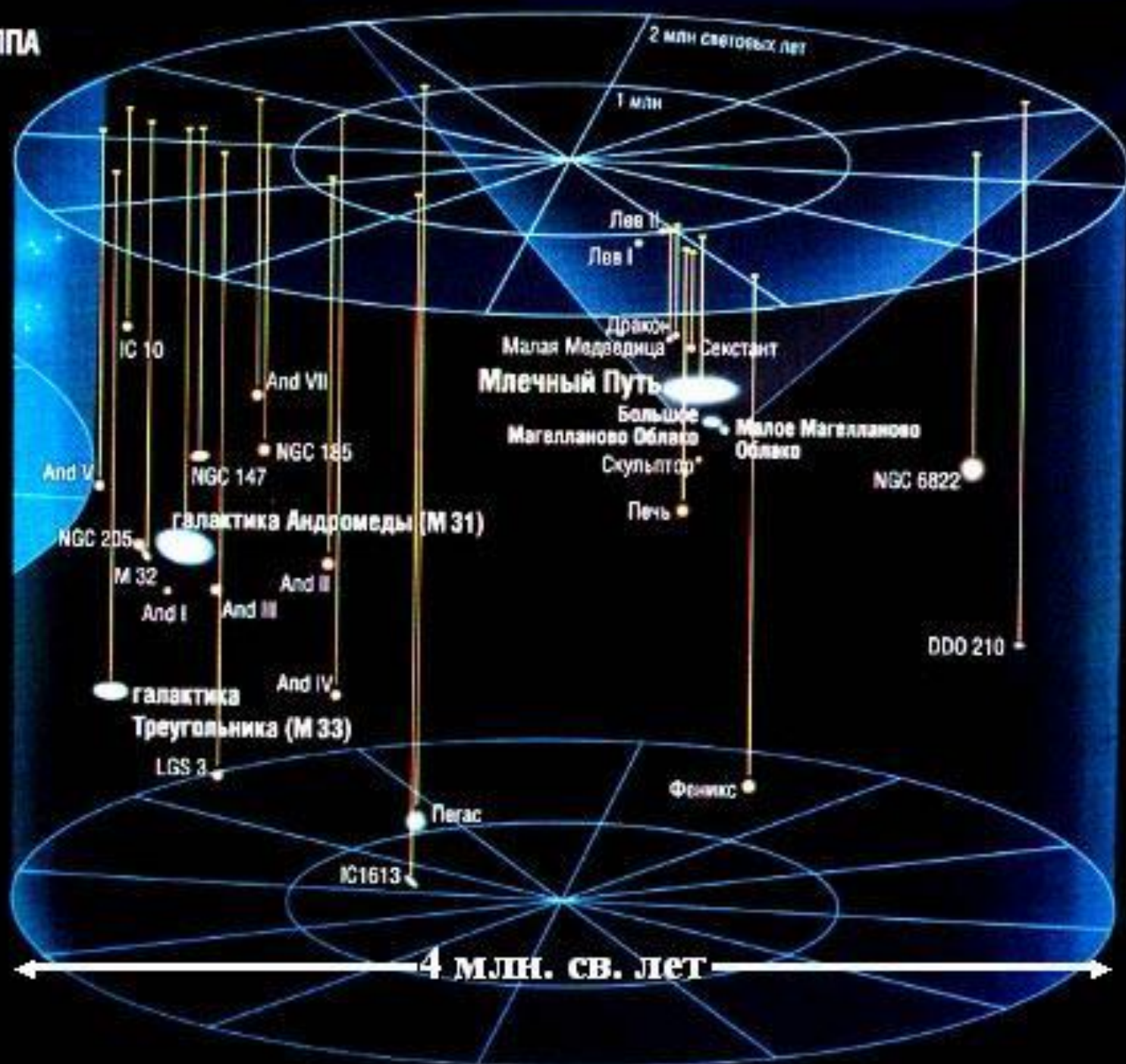


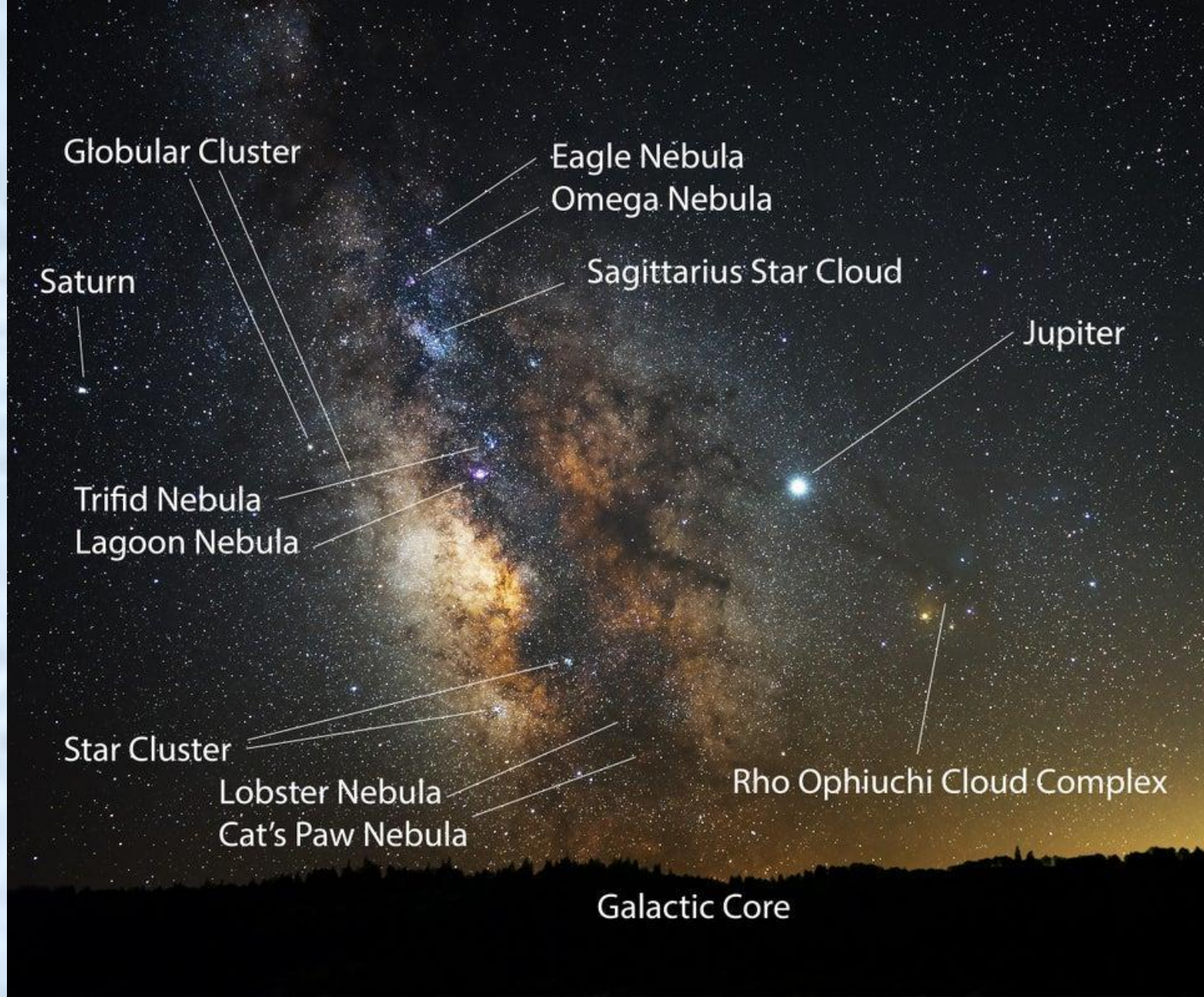


Профиль Млечного Пути.

СПГ — северный полюс Галактики. ЮПГ — южный полюс Галактики.

МЕСТНАЯ ГРУППА





Звездные скопления



Большинство звезд находятся в скоплениях; Есть два основных типа

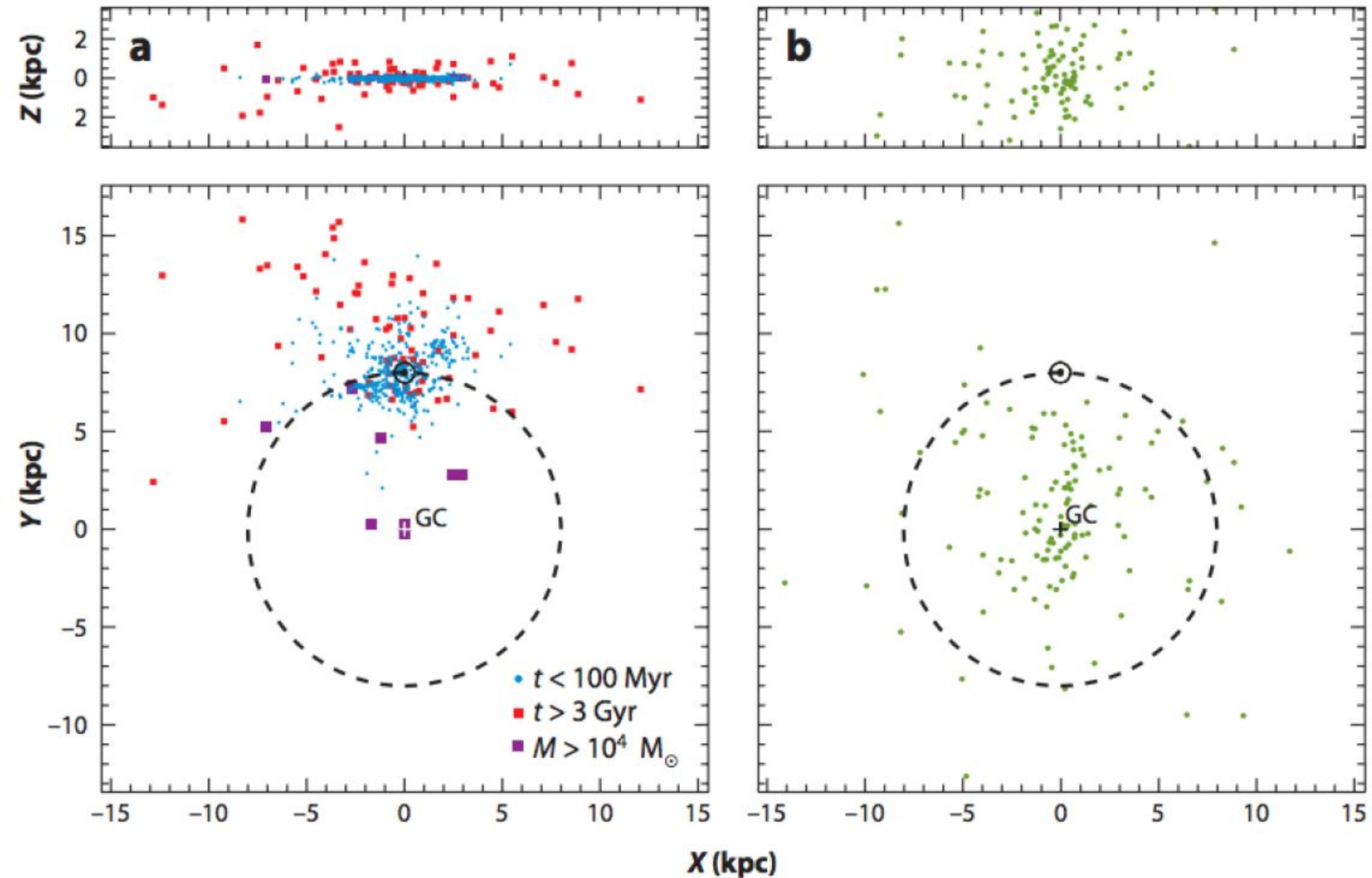
Рассеянные скопления состоят из нескольких тысяч звезд и являются молодыми (1-10 миллионов лет)

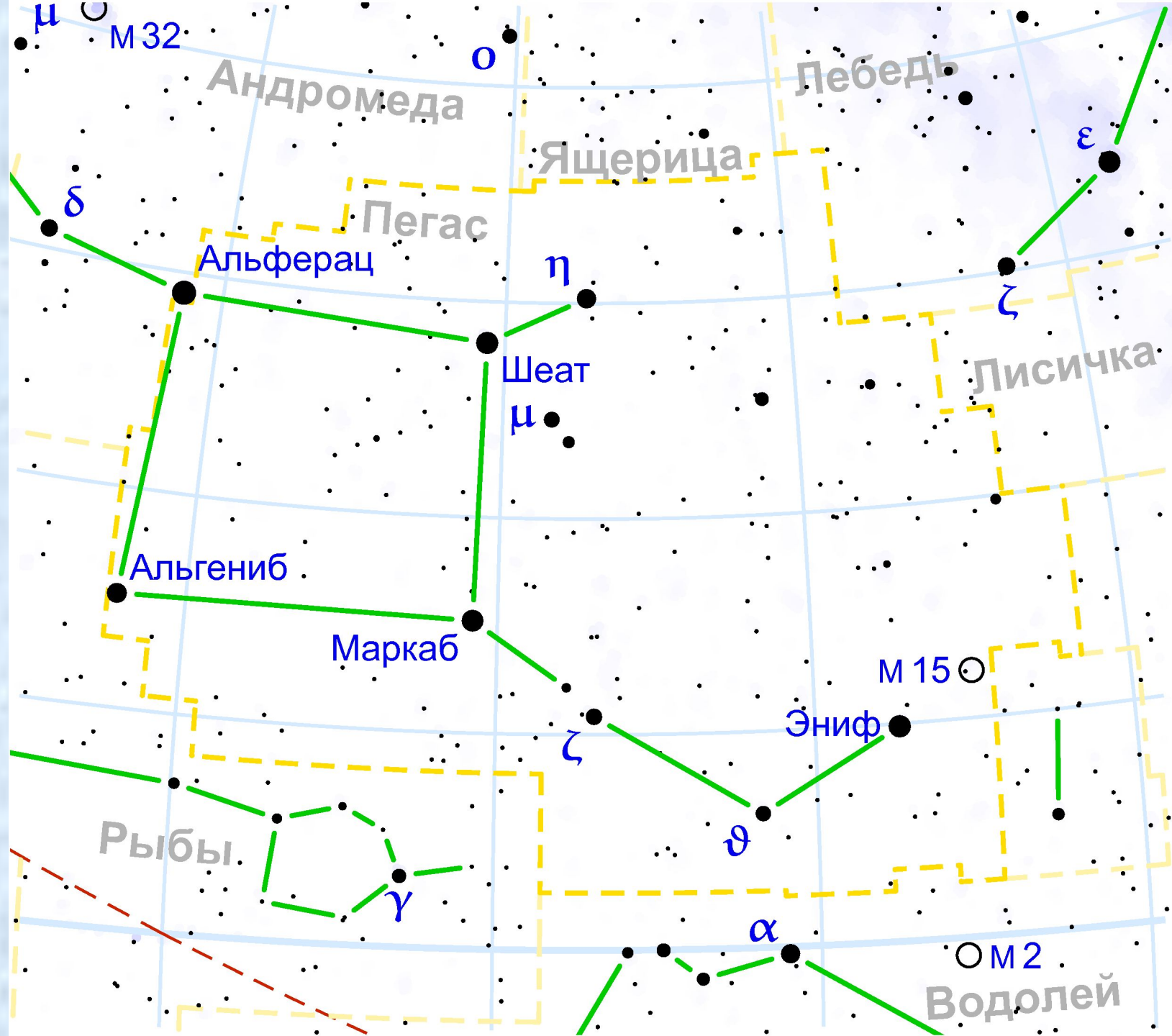
Шаровые скопления - более плотные (в 10-100раз) коллекции тысяч звезд и древние (10-14 миллиардов лет).

Распределение рассеянных и шаровых скоплений в Галактике

Open clusters

Globular clusters





М15 (NGC 7078) шаровое скопление в созвездии Пегаса. Видимая зв. величина 6,2, а угловой диаметр составляет 12,3 угл. минут. М15 находится на расстоянии 33 600 световых лет.



0.0 0.25 0.5 0.75 1.0
Degrees

©2011 F. Espenak, www.AstroPixels.com

TAKAHASHI EPSILON 180 ED HYPERBOLIC



NGC5139
(55')

M13
(20')

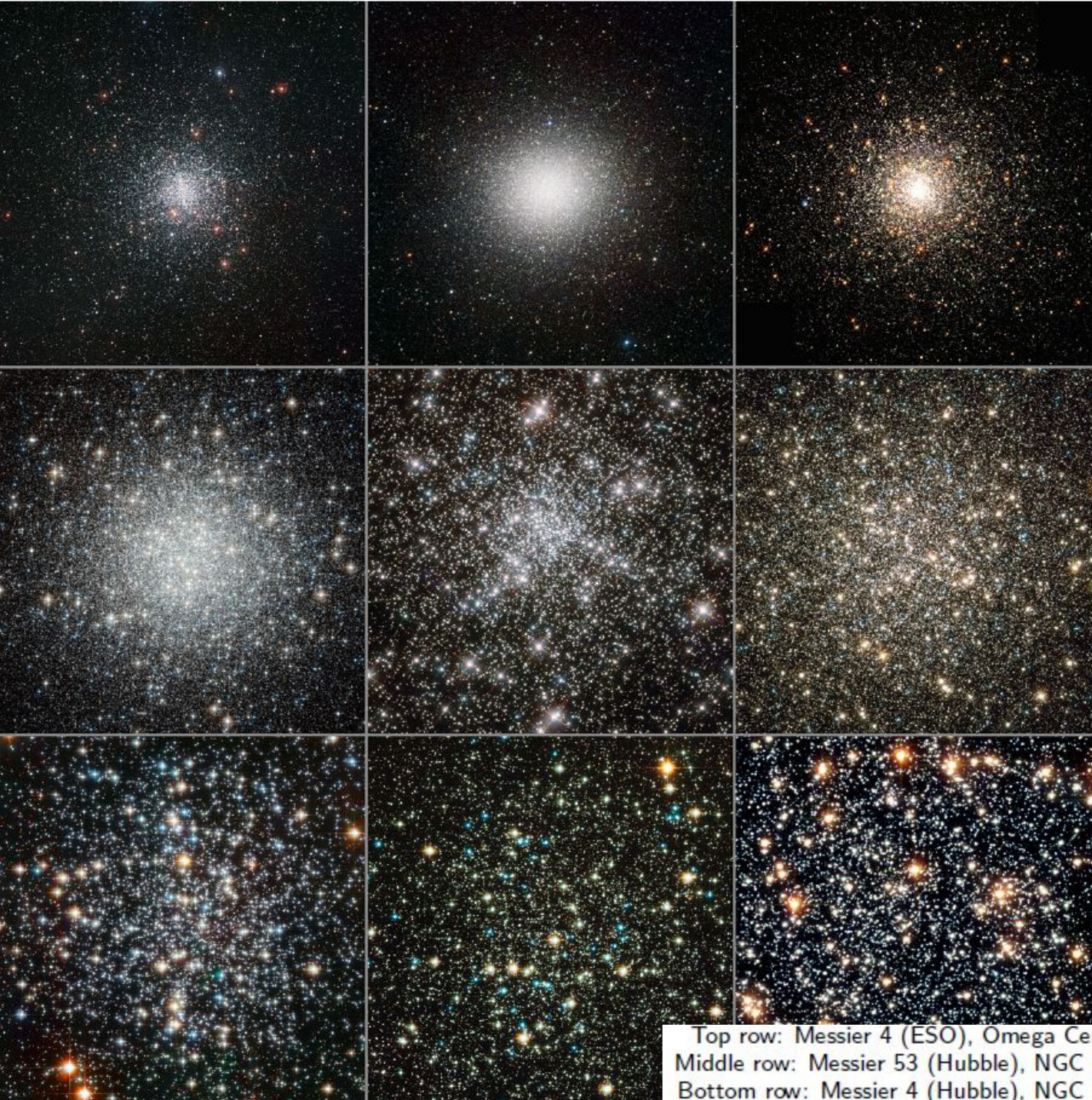
M92
(14')

NGC1851
(12')

Сравнение размеров
шаровых звездных
скоплений

NGC5139 (Omega Centauri), в Центавре- 55 уг.сек M13, в Геркулесе- 20 угл.сек.

M92, в Геркулесе - 14 уг.сек NGC1851, в Голубе – 12уг.сек



Top row: Messier 4 (ESO), Omega Centauri (ESO), Messier 80 (Hubble)
Middle row: Messier 53 (Hubble), NGC 6752 (Hubble), Messier 13 (Hubble)
Bottom row: Messier 4 (Hubble), NGC 288 (Hubble), 47 Tucanae (Hubble)



Сравнение видов шарового звездного скопления NGC 6362 (созвездие Жервенник) от WFI (камера на 2,2м телеск.вЧили) иHubble.

<https://www.youtube.com/watch?v=DYz3MNdfBwo>

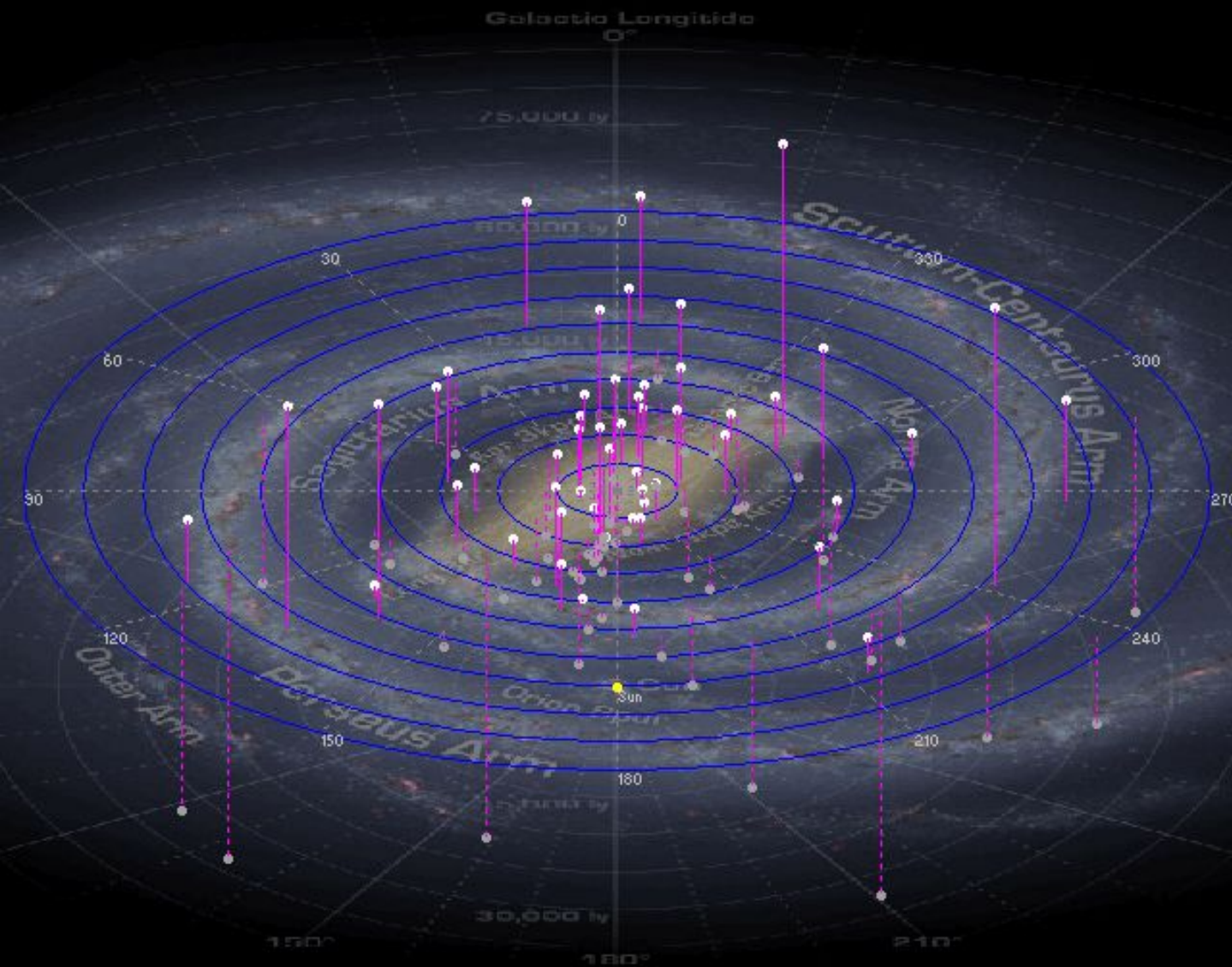
Пространственные концентрации звёзд в центральных областях шаровых скоплений составляют 100—1000 звёзд на кубический парсек , расстояние между звёздами составляют 3—4,6 трлн км (0,3—0,5 светового года); В окрестностях Солнца звёздная плотность в 700—7000 раз меньше.



The 111 globular clusters within 37,153 LY of the galactic centre

Galactic centric (galactic longitude and latitude)

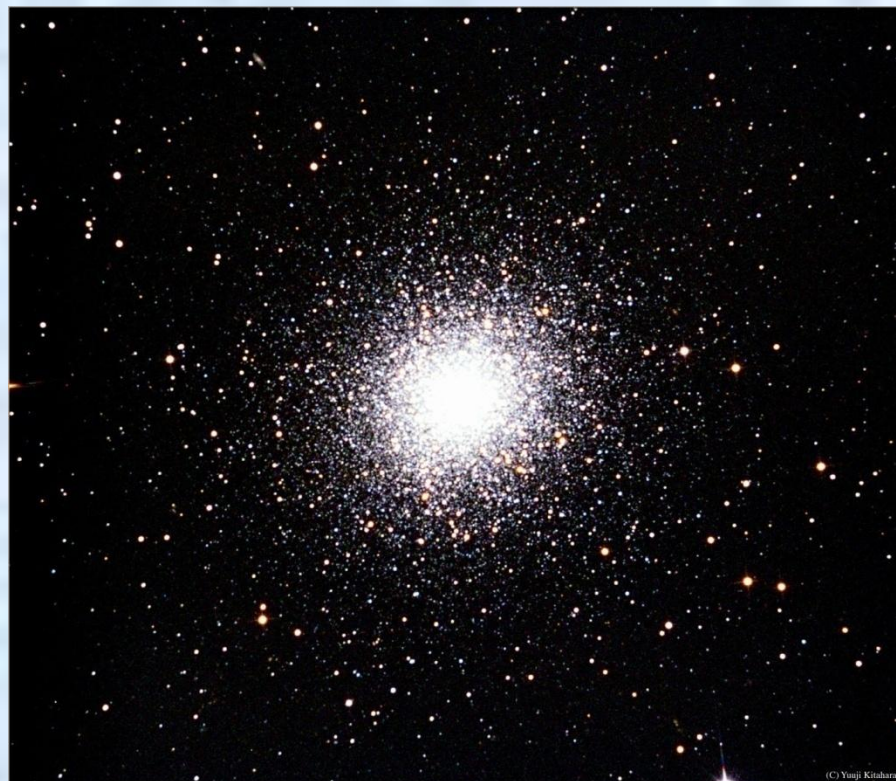
3,715 LY



Что собой представляют шаровые скопления?

М 13

- SSPs – единый возраст
- и металличность
- $10^5 - 10^6 M_{\text{солн}}$
- Все галактики $M_V < -15$ имеют минимум 1 шт ШЗС
- ~150 в MW
- ~400 в М31
- > 10,000 в некоторых эллиптич.галактиках



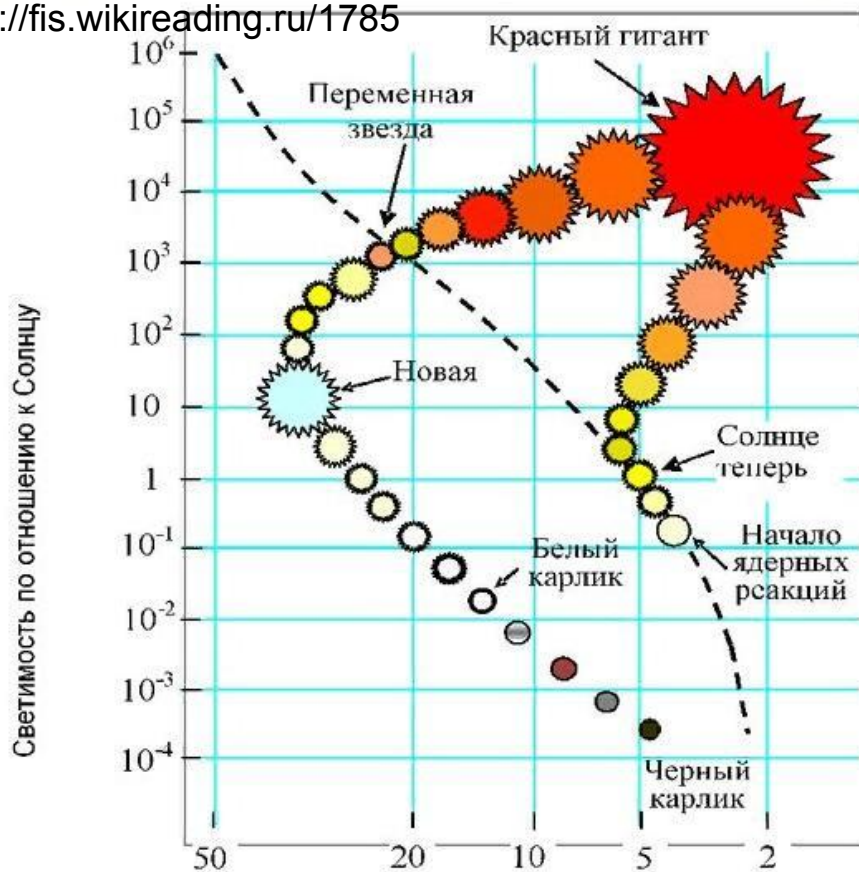
- $S_N \equiv N_{GC} \times 10^{0.4(M_V + 15)}$, 2 – 3 × в гигант.Е-галактиках

**Количество звёзд в шаровых скоплениях составляет $\approx 10^4$ — 10^6 .
Диаметры шаровых скоплений составляют 20—60 пк,
массы — 10^4 — 10^6 солнечных.**

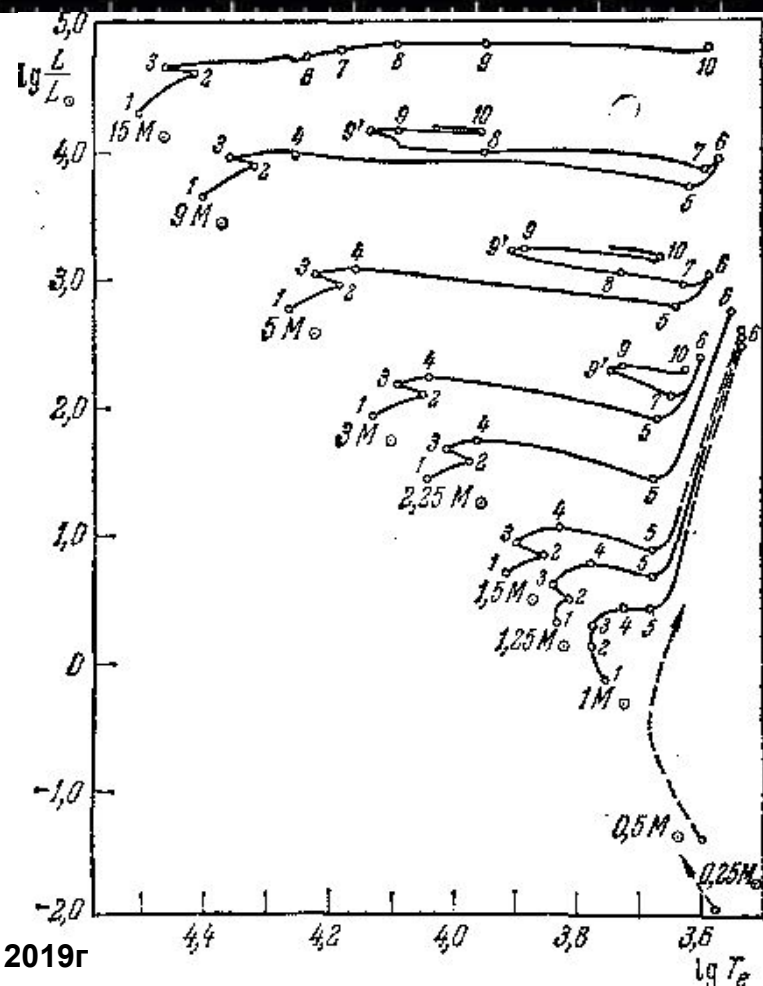
Жизненный цикл солнца

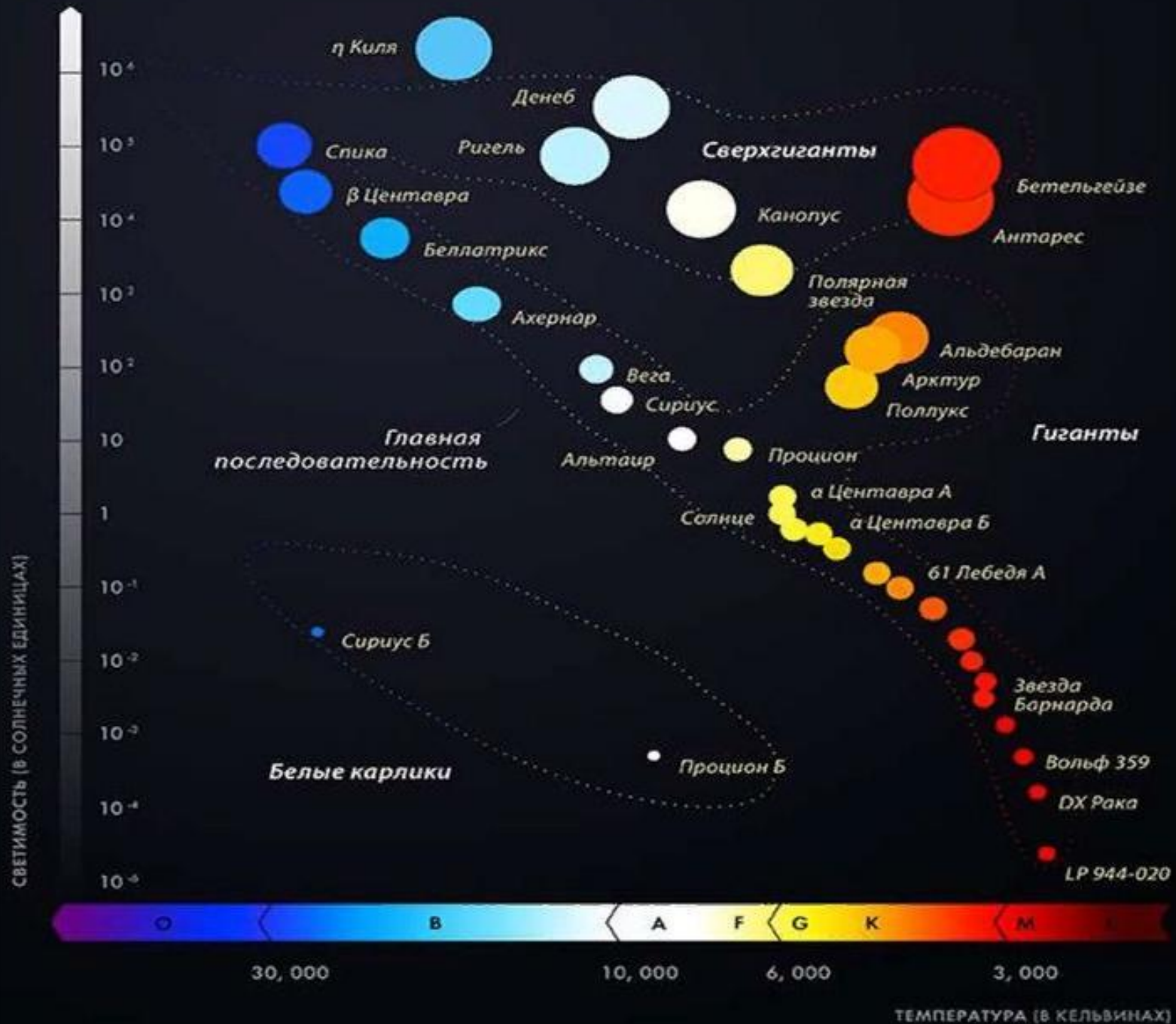


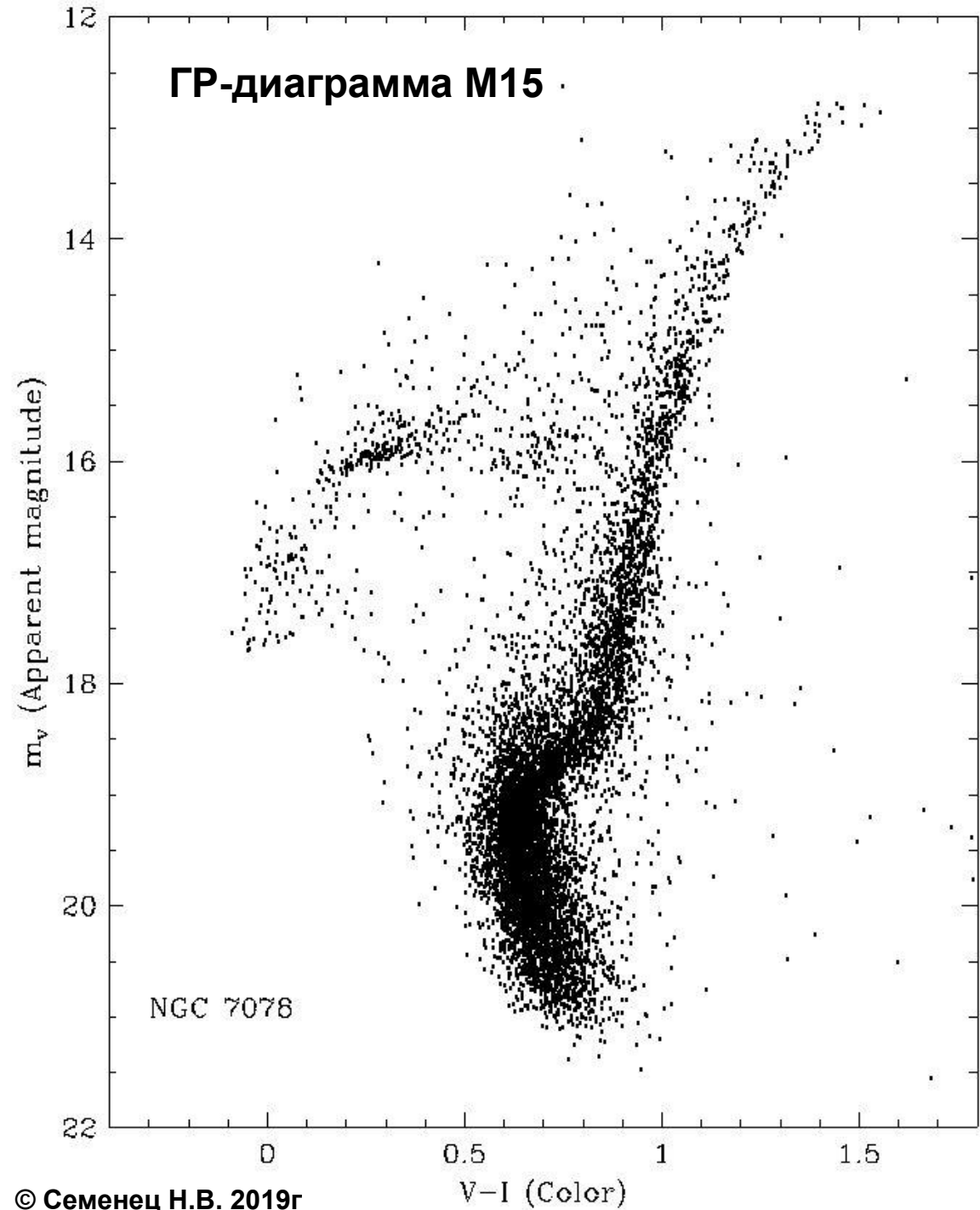
<https://fis.wikireading.ru/1785>



Температура поверхности звезды, 10^3 K © Семенец Н.В. 2019г



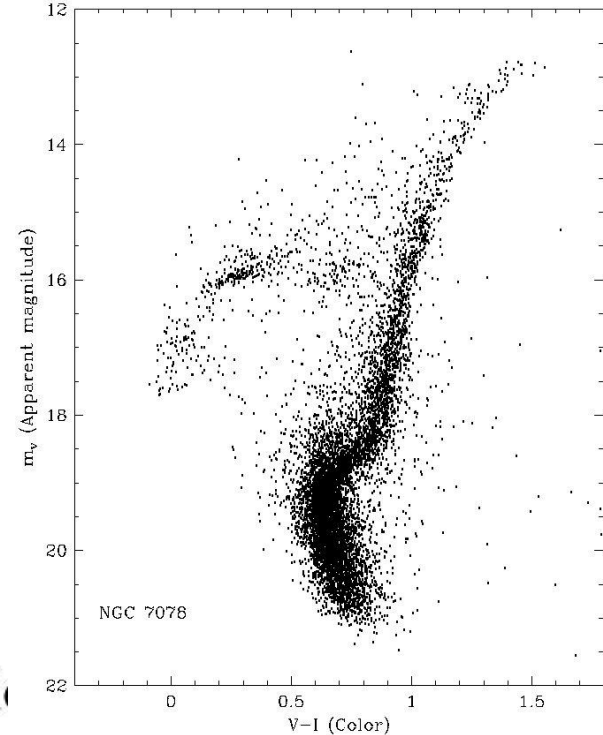
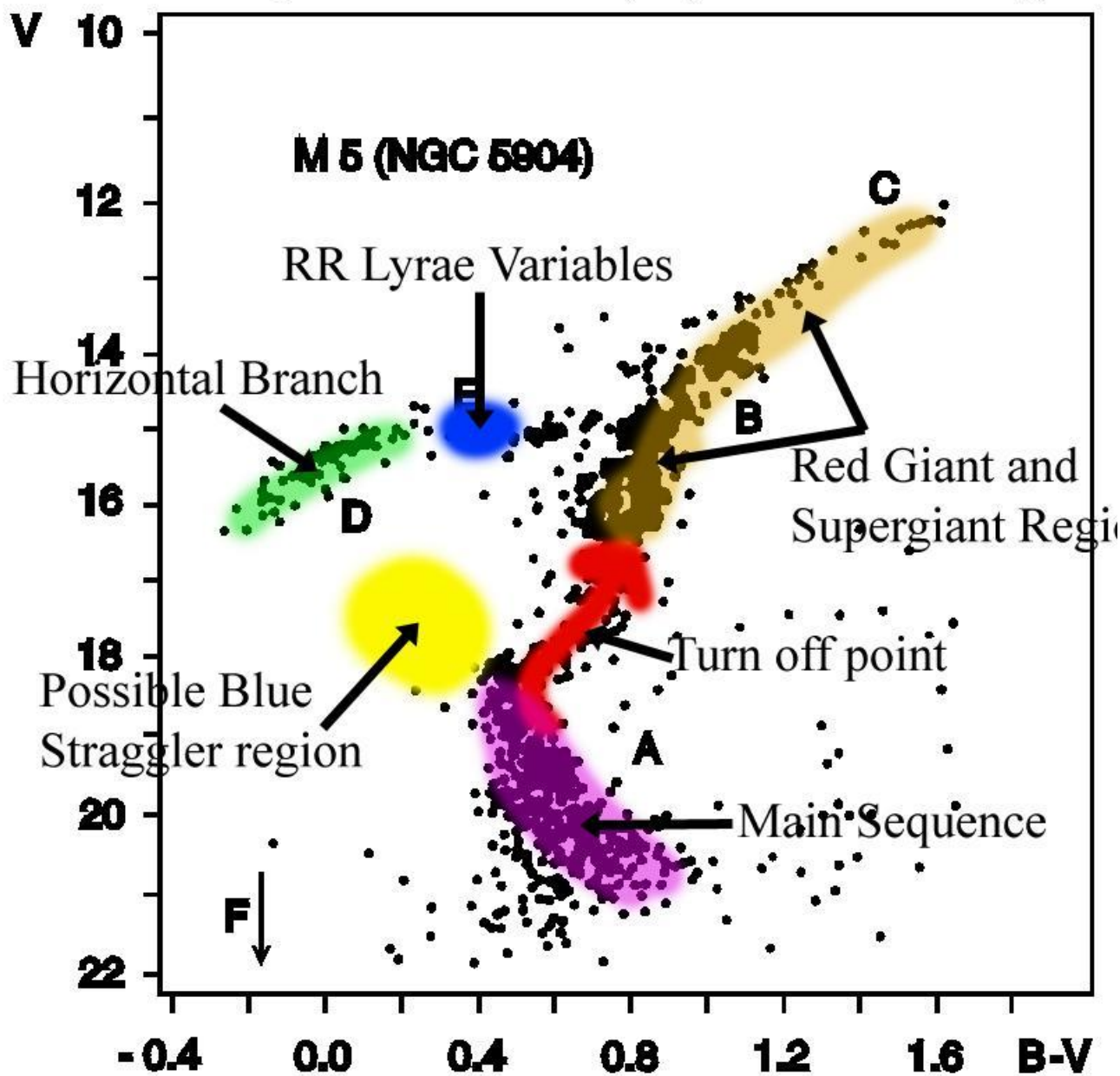




**“Портрет”
шарового скопления**



Adapted from SEDS (<http://www.seds.org>)

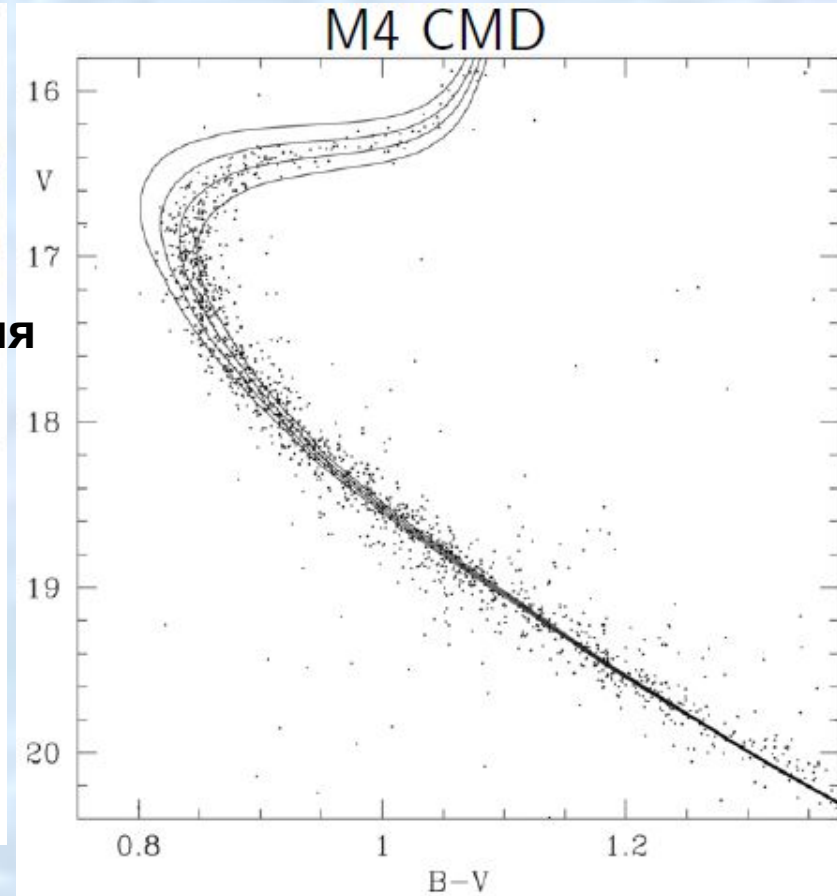
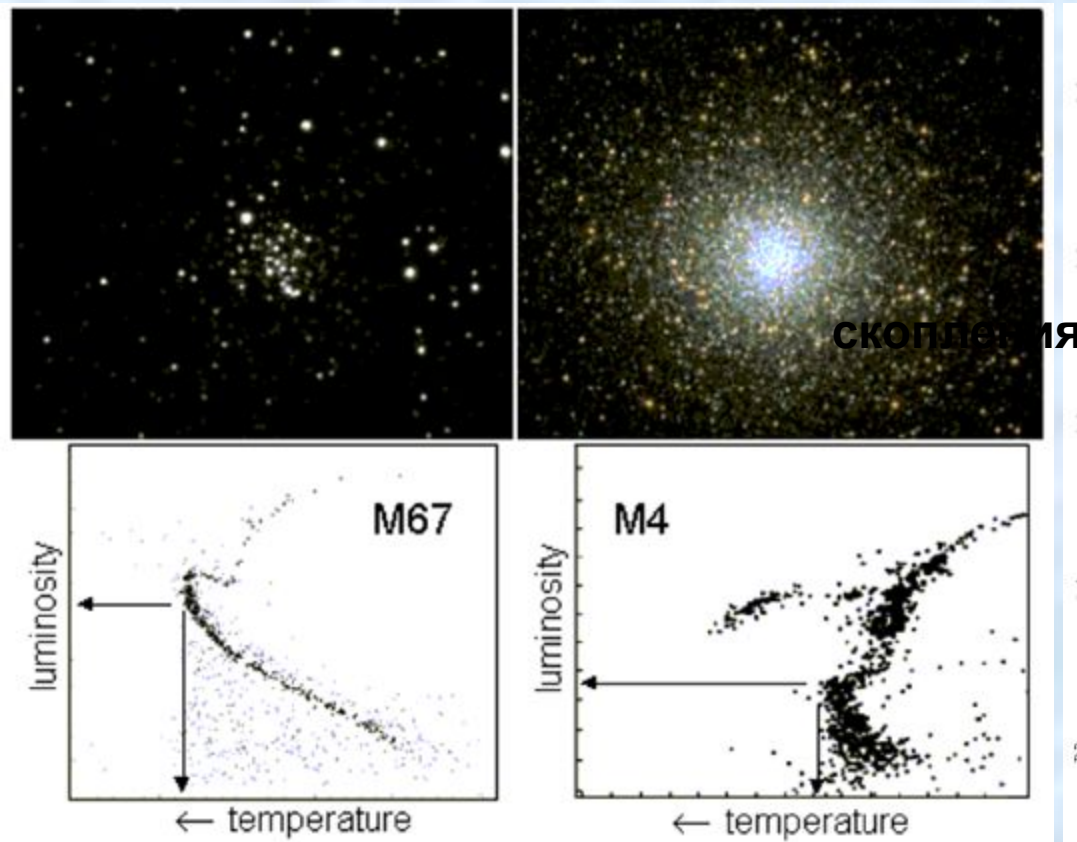


**В скоплении звезды
ГП имеют массу
0,2..0,8 $M_{\text{солн}}$**



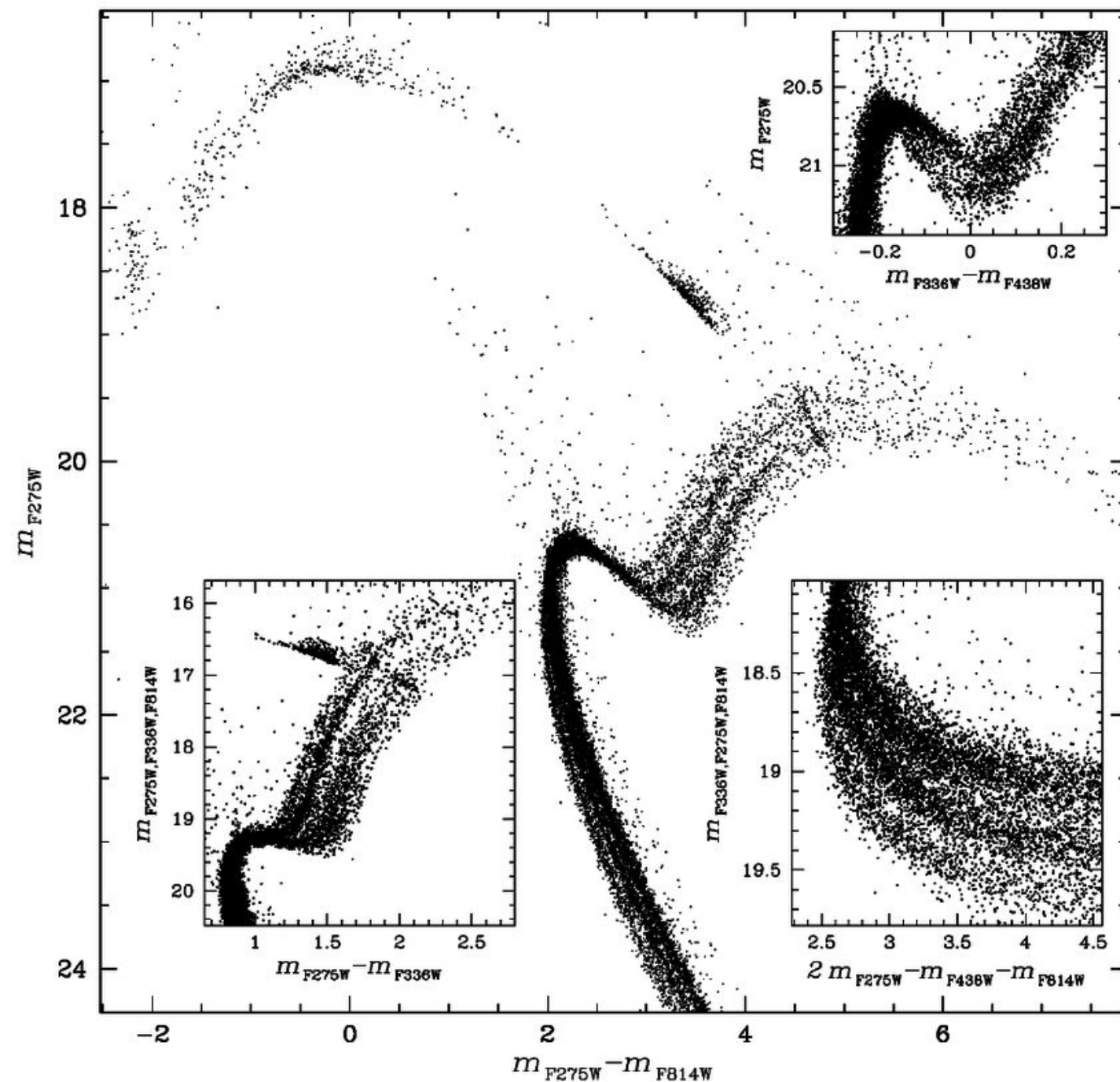
Возраст скоплений

Рассеянные и шаровые скопления, возраст



**ГР-диаграмма
NGC 2808
(данные
телескопа
Хаббла)**

**3 группы звезд
различного
возраста и хим.
состава**



Количество шаровых скоплениях в галактиках

- Milky Way: $100 < N < 200$
- Andromeda: $200 < N < 500$
- M 87: $N > 1000$

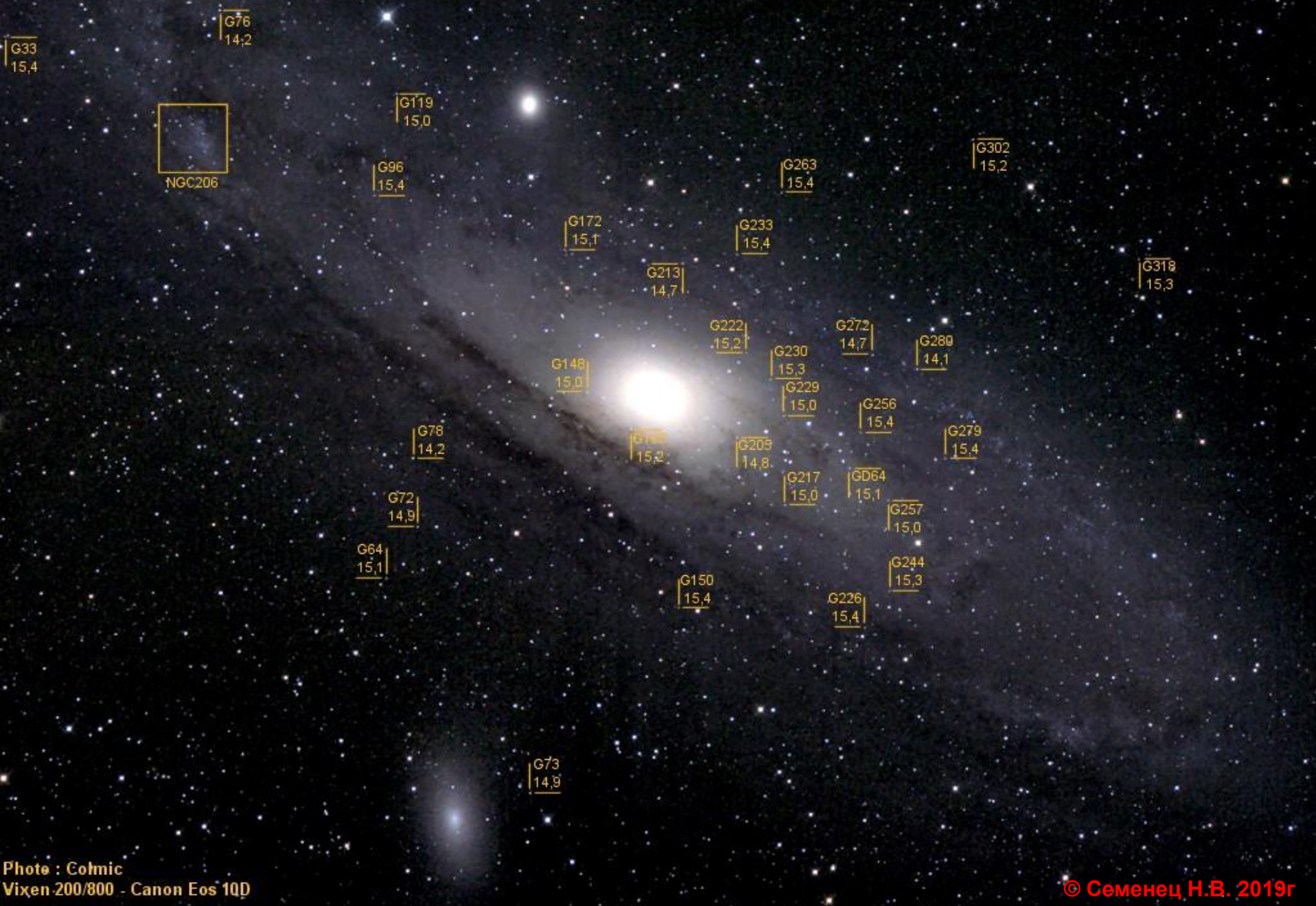


М31, Черенков А., 2018г

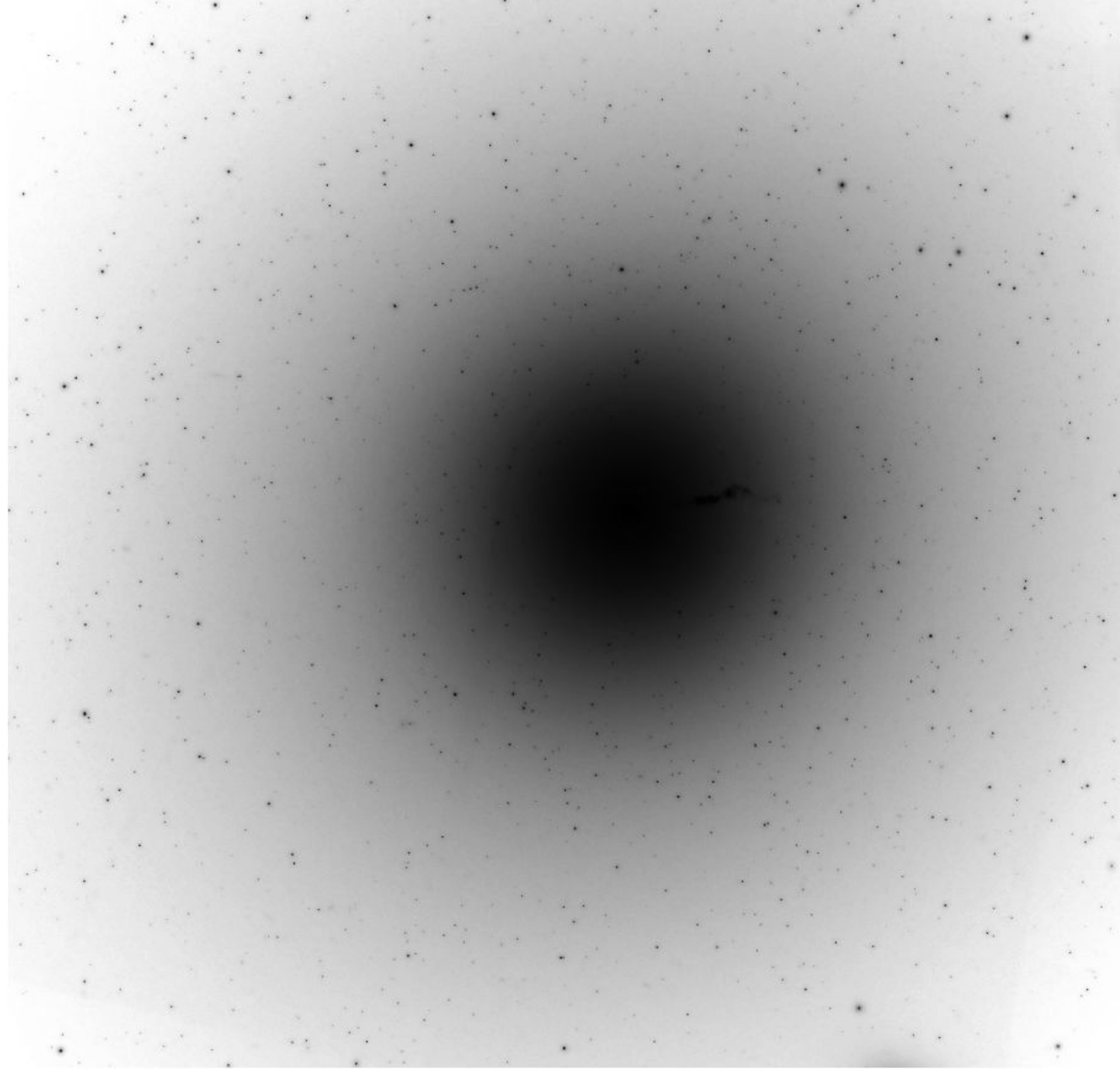


M87 © Anglo-Australian Observatory
Photo by David Malin





Шаровые скопления в гигантской эллиптической галактике M87



Шаровое скопление G1 в галактике M31
Космический телескоп Хаббла, 2.4м рефлектор, фокусн.рас-ние 57.6m



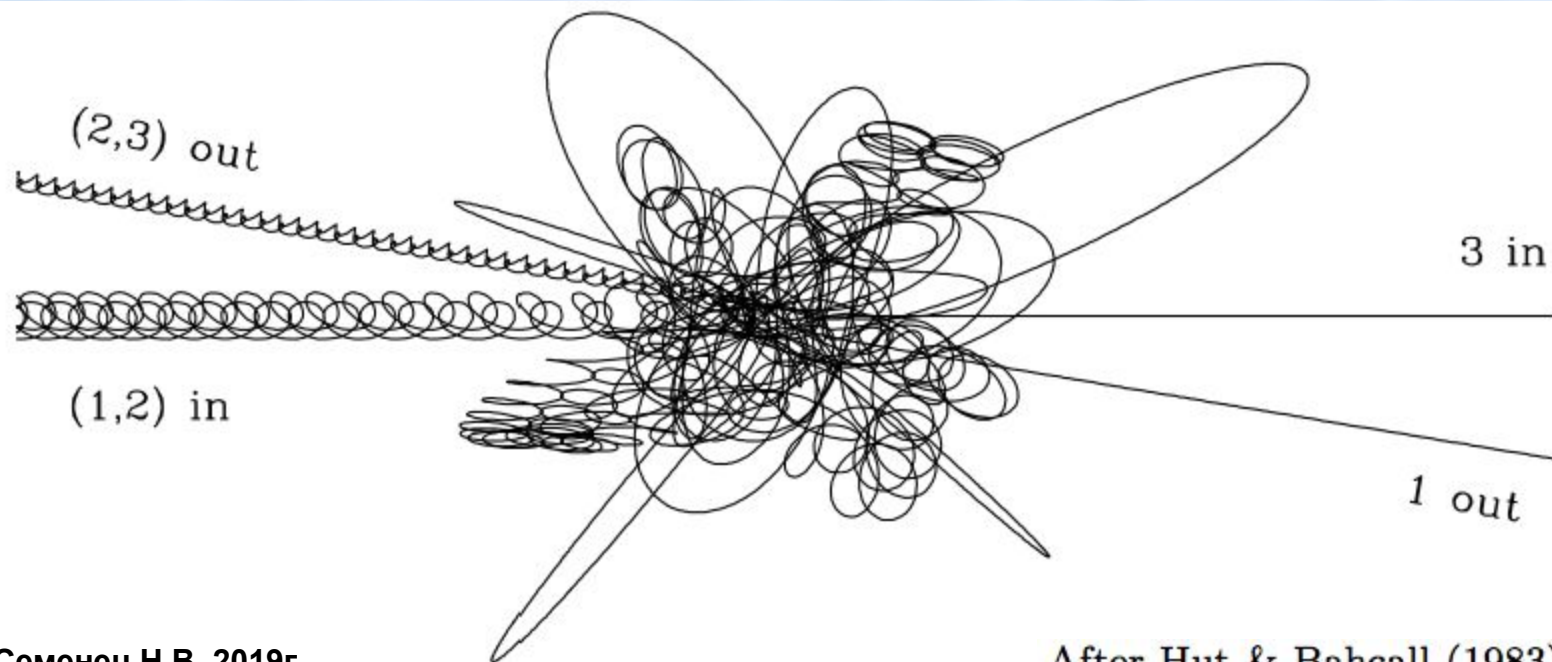
Визуализация движения звезд шарового скопления, состоящего из 6,144 звезд. Ширина рамки составляет более ста триллионов миль. Поскольку фильм разворачивается, эволюция скопления показана в этом замедленном фильме, в котором каждая секунда представляет собой проходящие тысячи лет!

https://www.youtube.com/watch?v=_mr9y4F6ME4

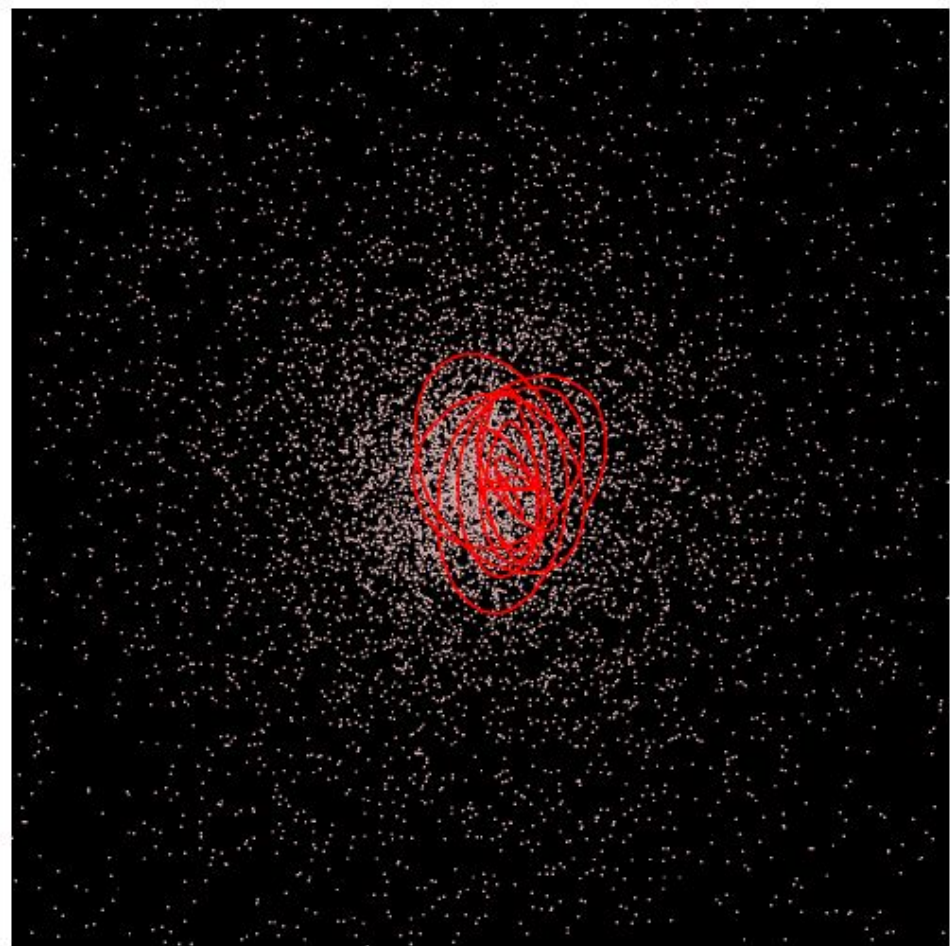
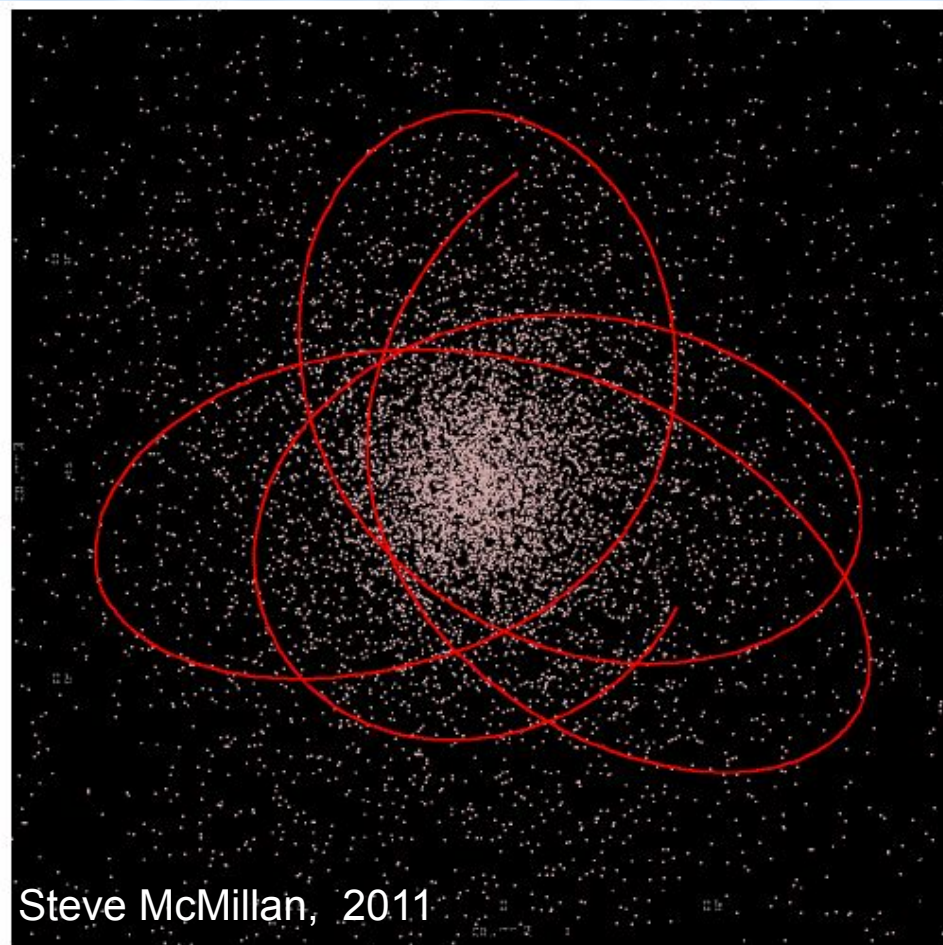
Видео и симуляция Simon Portegies Zwart
(University of Amsterdam), Frank Summers (STScI)



Обменное взаимодействие между тесной двойной и одиночной звездой

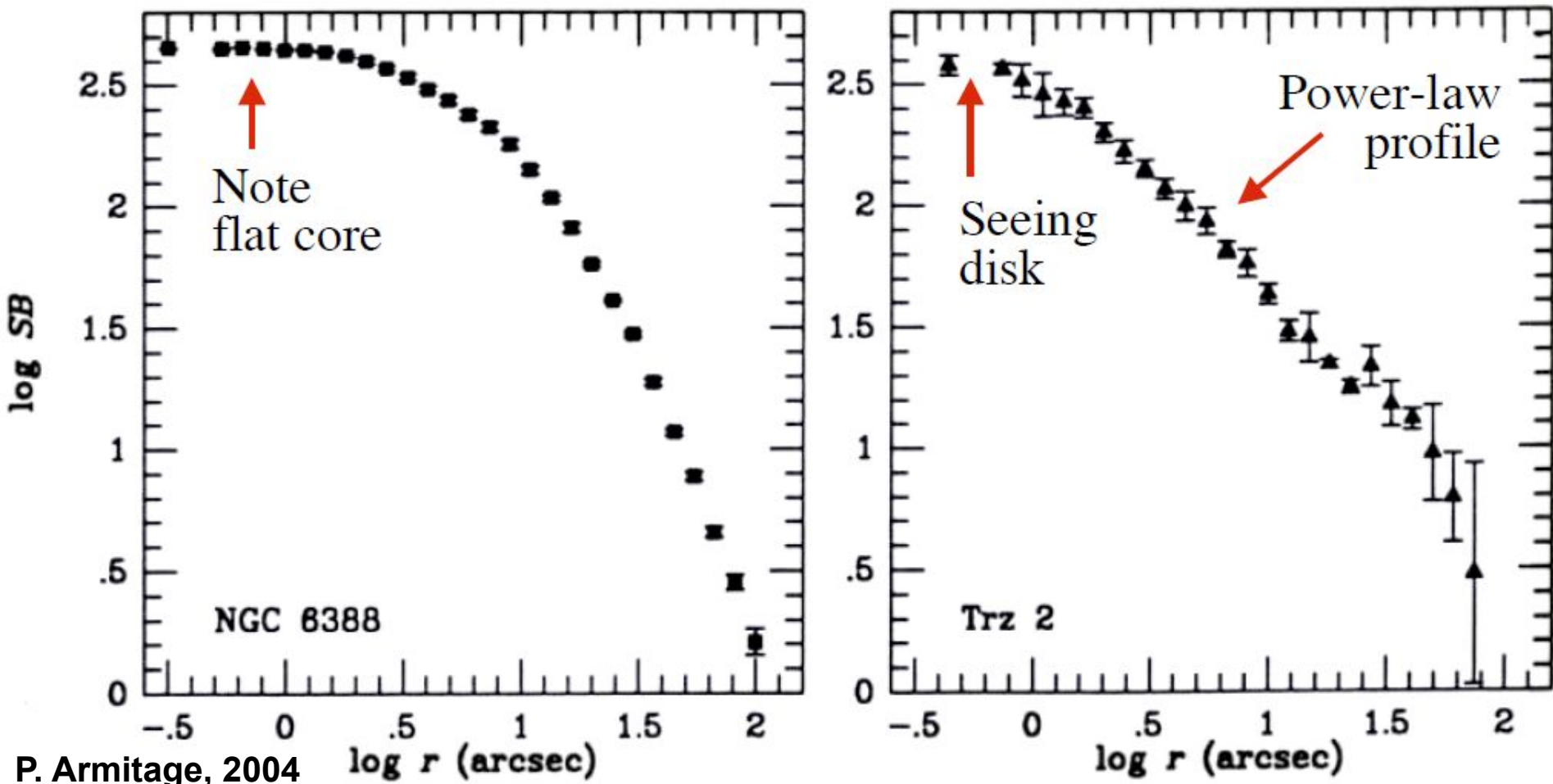


Орбиты 2х звезд в системе из 10000 звезд



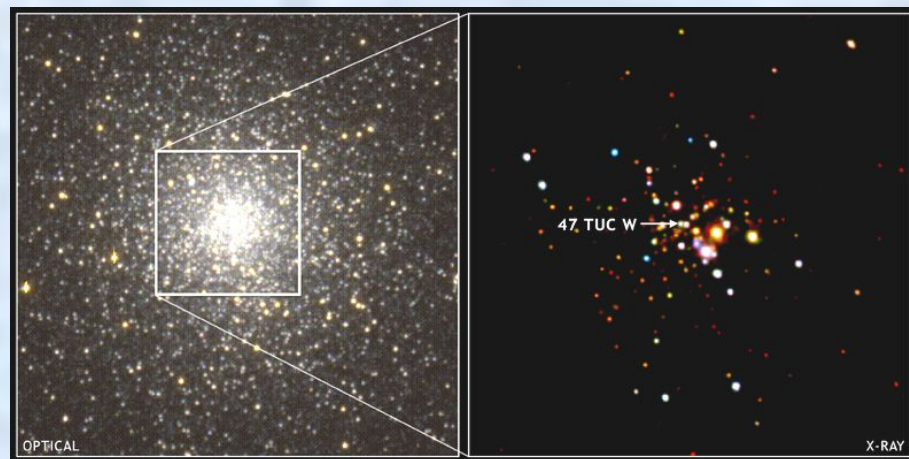
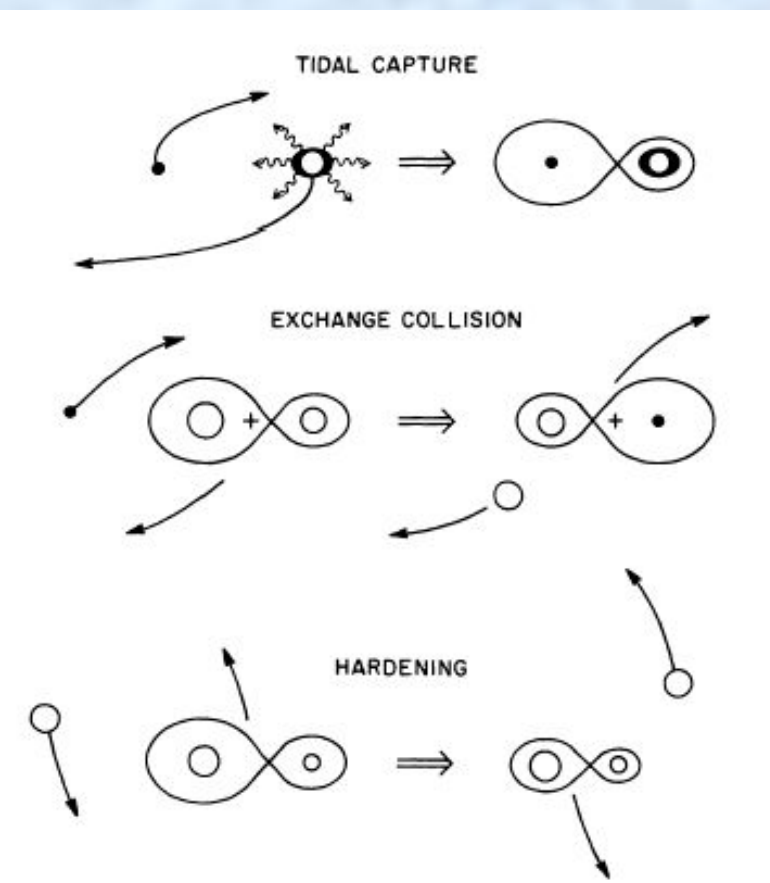
Профиль поверхностной яркости шаровых скоплений Мл.Пути

Указание на коллапс ядра



~20% ШЗС Мл.Пути имеют ядра с плоским профилем поверхностной яркости

Двойные в шаровых скоплениях



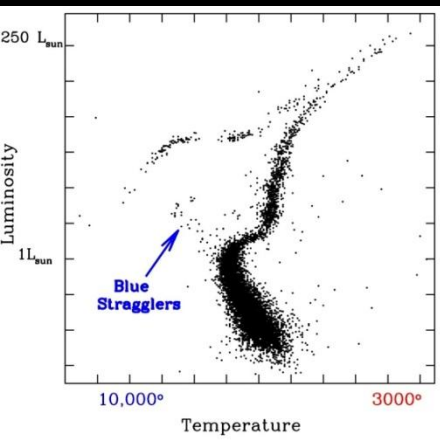
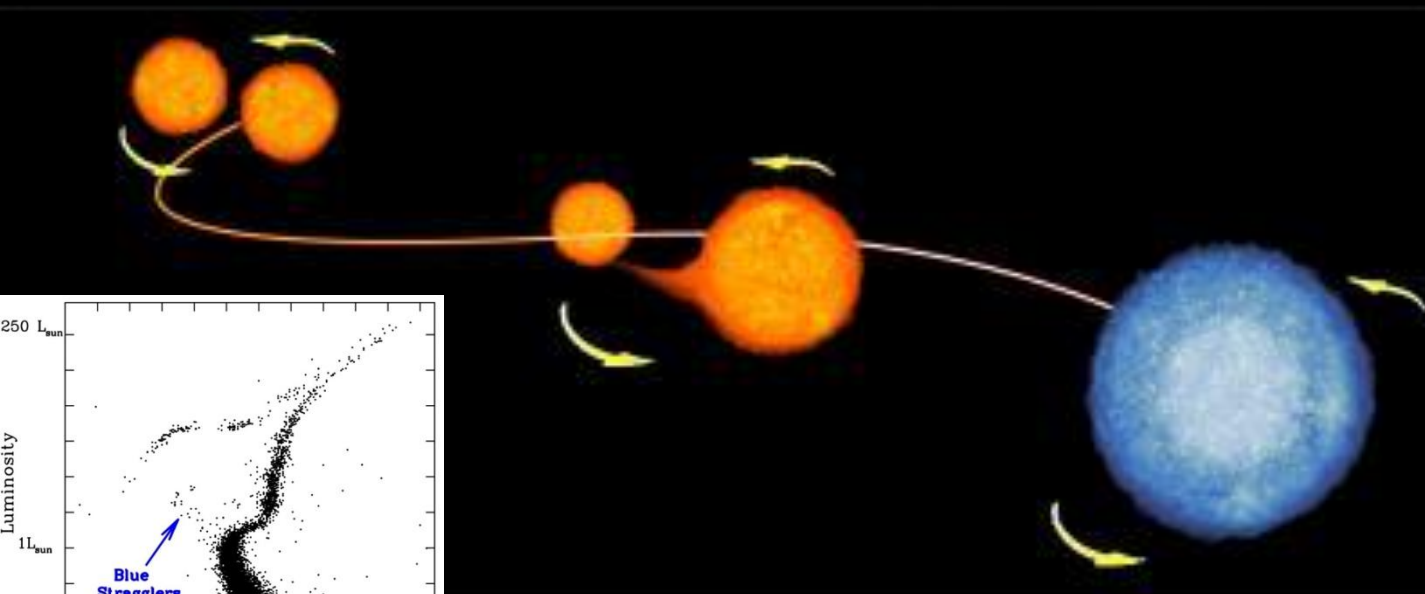
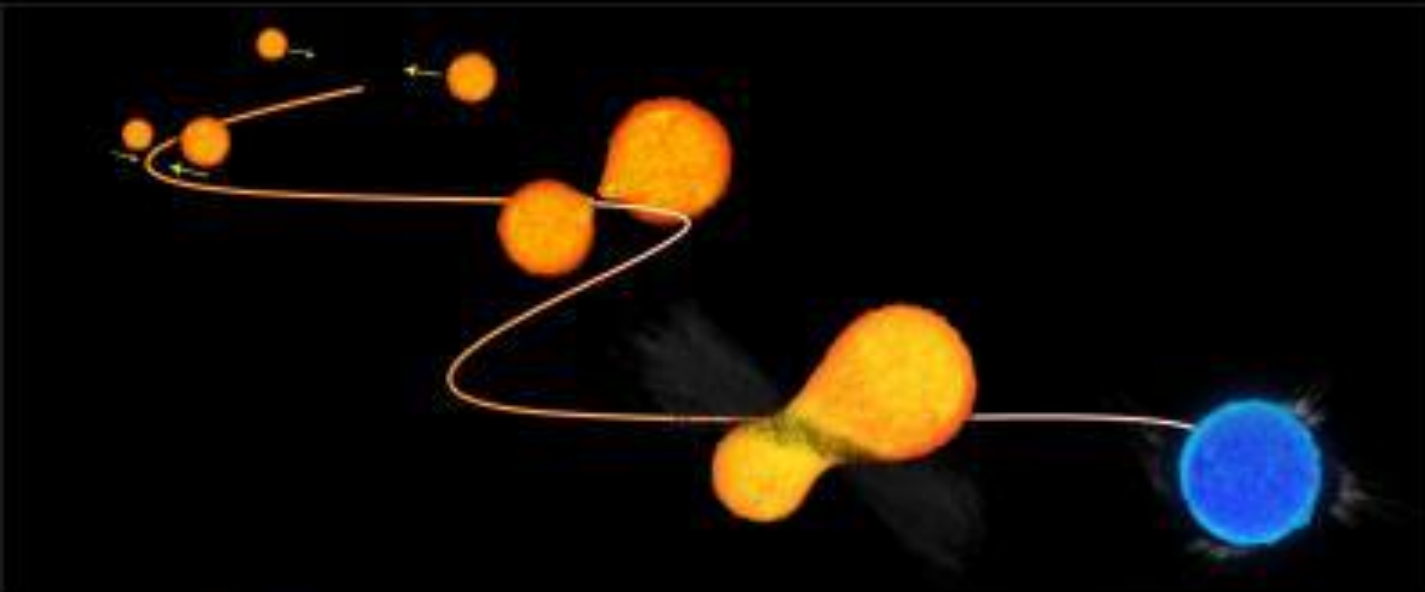
Сотни тесных рентгеновских двойных звезд и миллисекундных пульсаров обнаружены в шаровых скоплениях

Формирование тесных маломассивных двойных согласуется с различными динамическими процессами между звездами

Изображение космического телескопа Хаббла NGC 6397, с
ярко-синими “странными” звездами

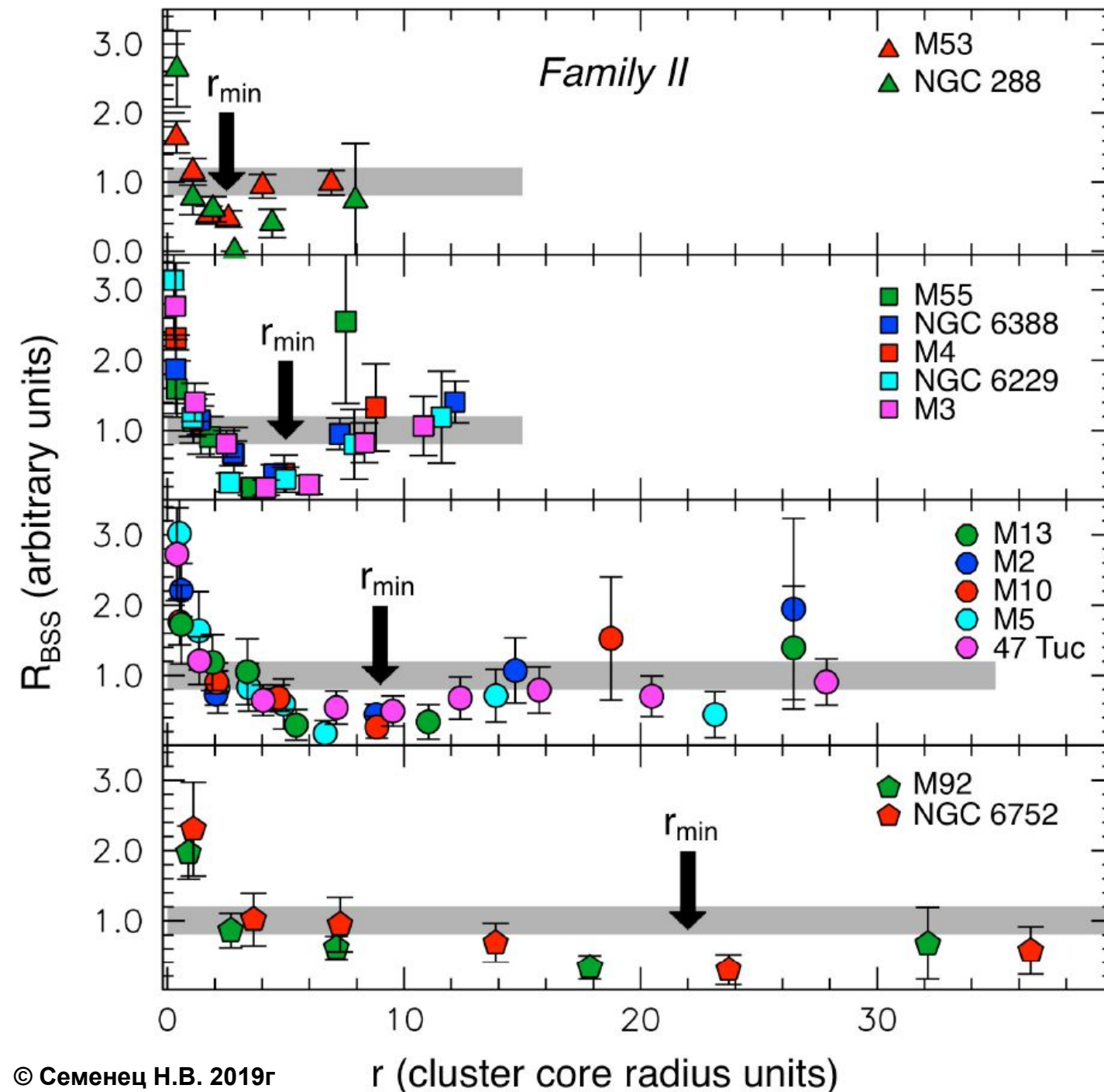


Голубые “странные” звезды

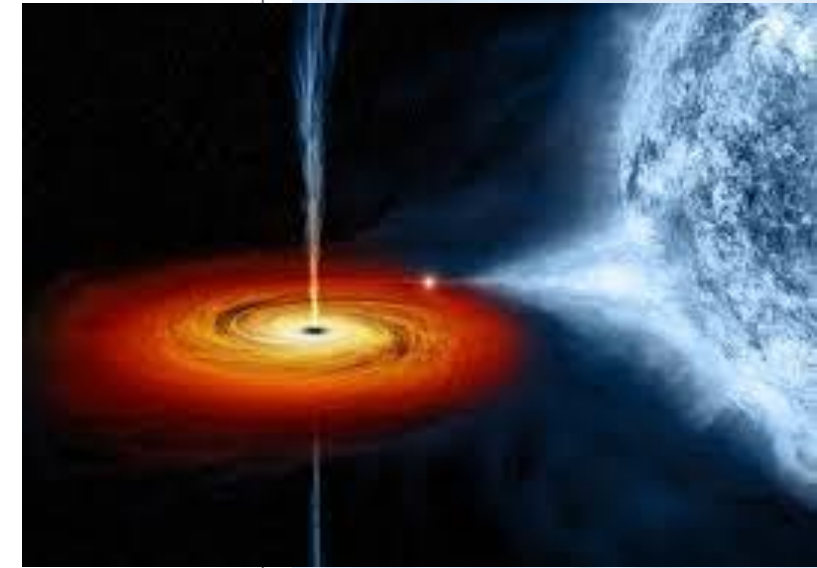
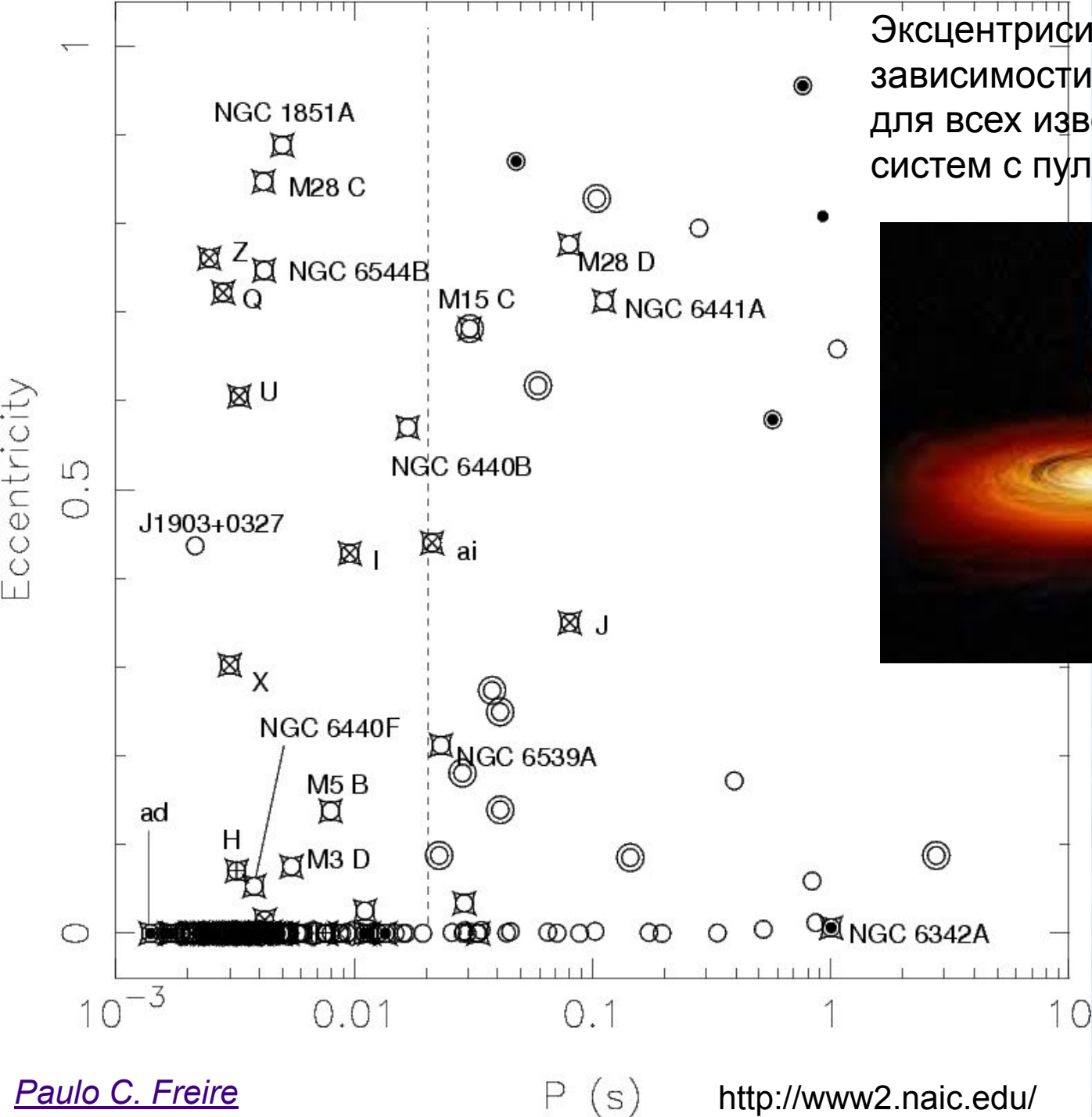


Радиальное распределение “голубых странников” BSS в ШЗС

Большинство BSS
“мигрировали” к
центру скопления

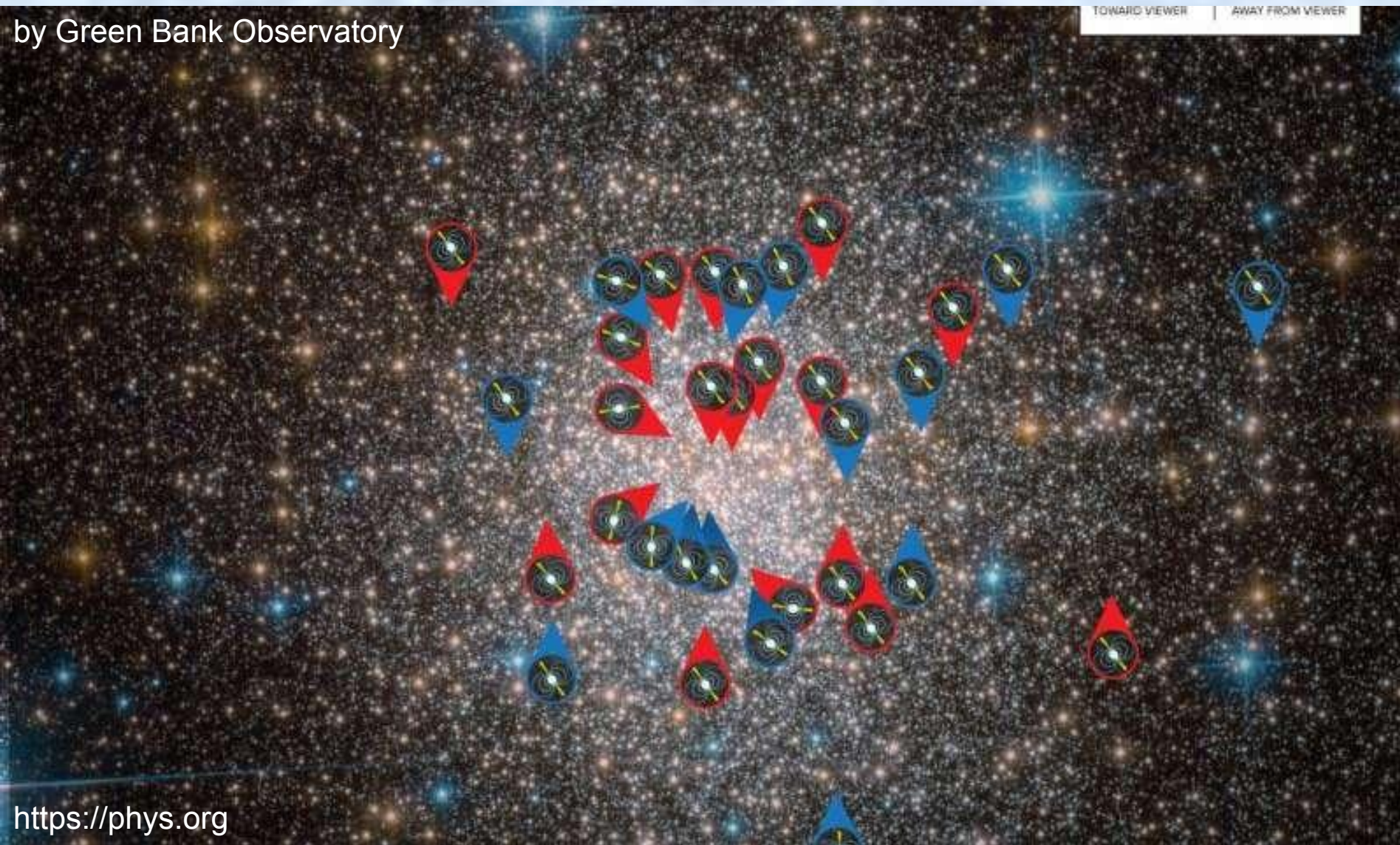


1212.5071
Ferraro F. и др



Миллисекундные пульсары в скоплении Terzan 5

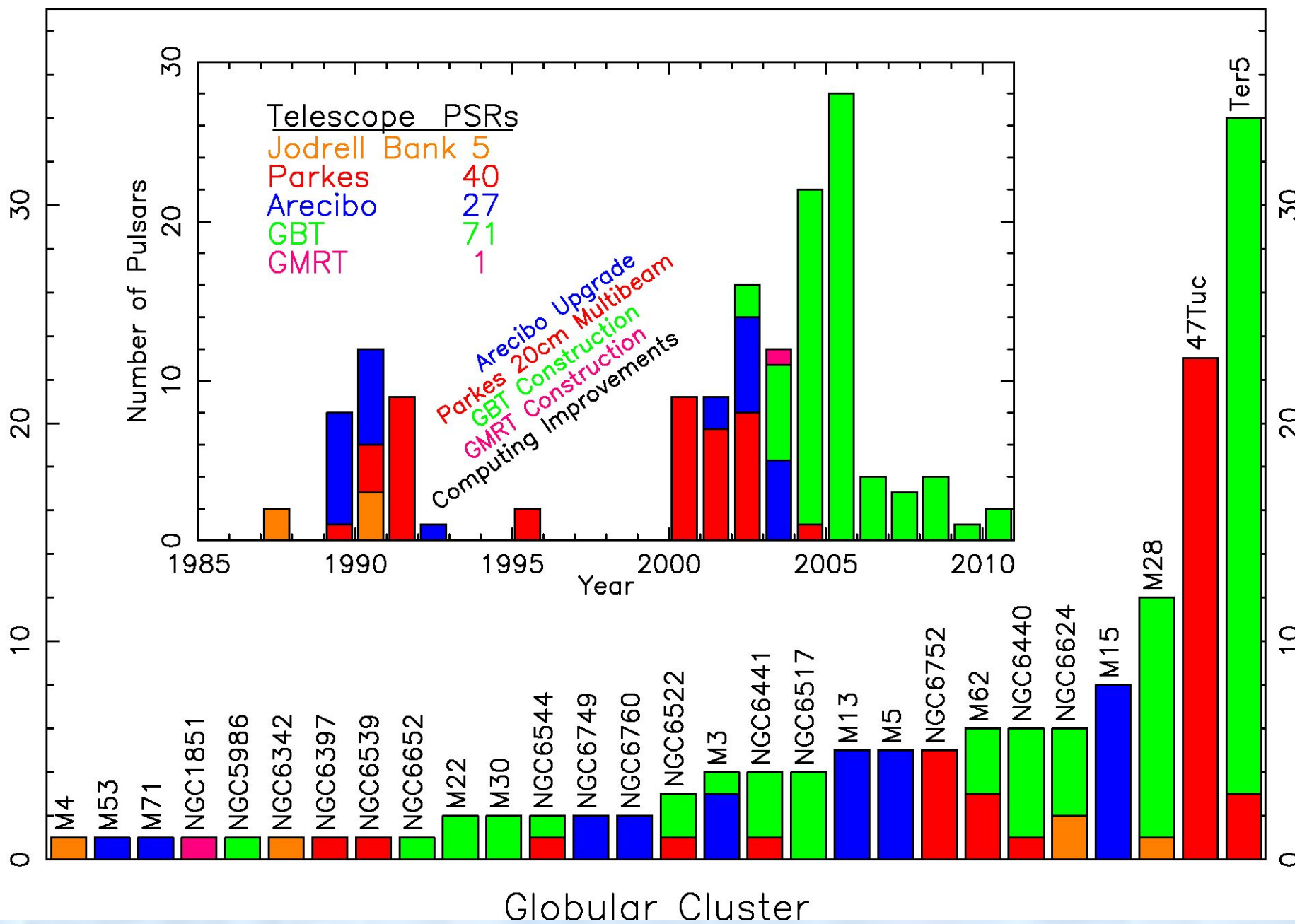
by Green Bank Observatory



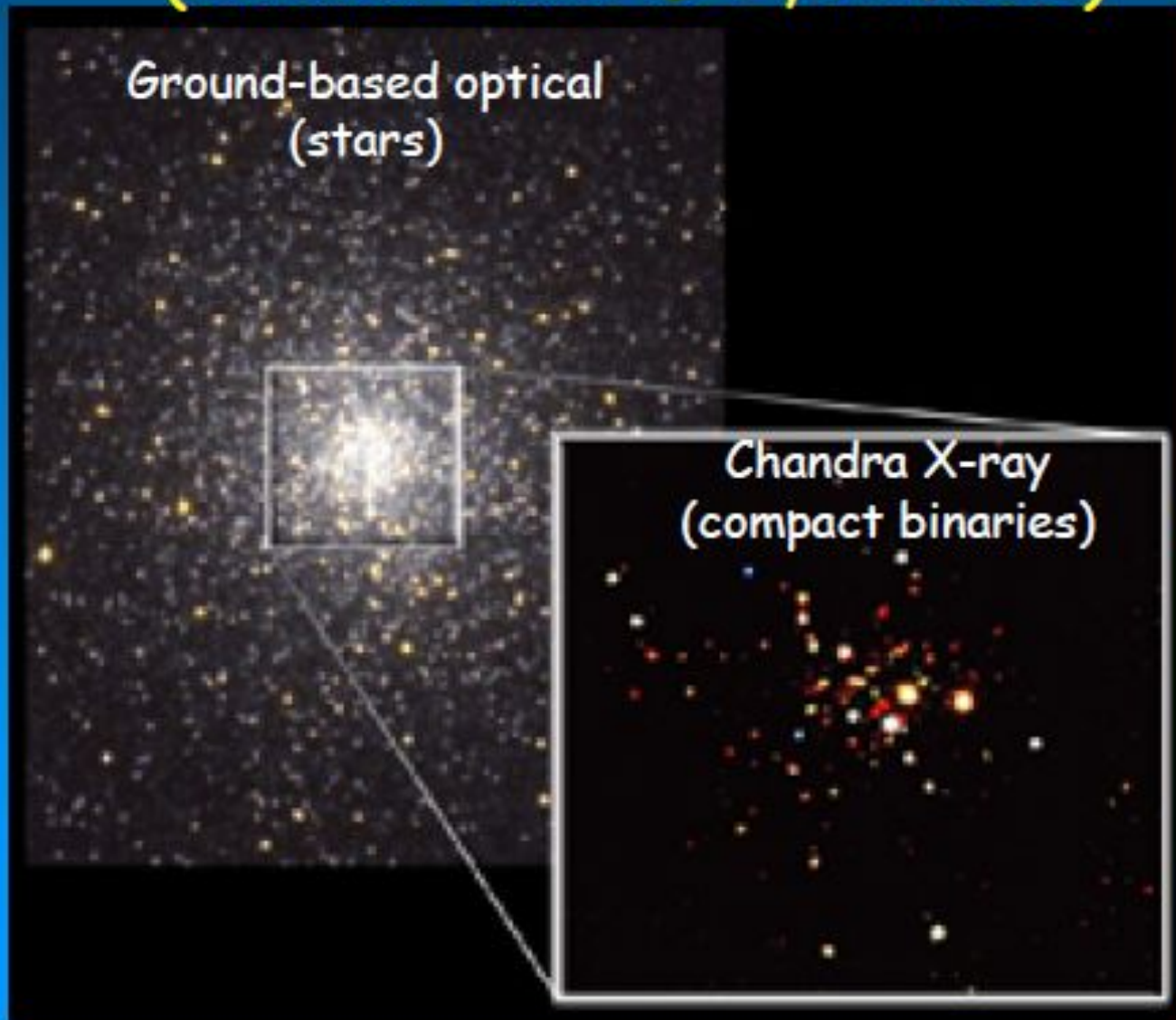
<https://phys.org>

144 pulsars in 28 clusters

Number of Pulsars



First deep look a Globular with Chandra:
47Tuc, March 16-17, 2000
(Chandra ACIS-I, 70ksec)



ACIS-I image
2 x 2.5 arcmin

0.5-1.2 keV

1.2-2.0 keV

2.0-6.0 keV



Маломассивная рентгеновская двойная система LMXB

A Low Mass X-Ray Binary: 4U 1820-30

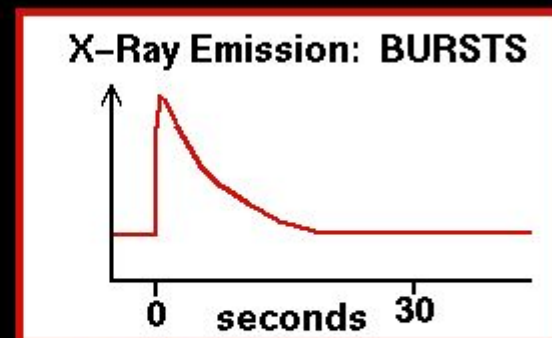


130,000 km

White Dwarf



1,200 km/sec



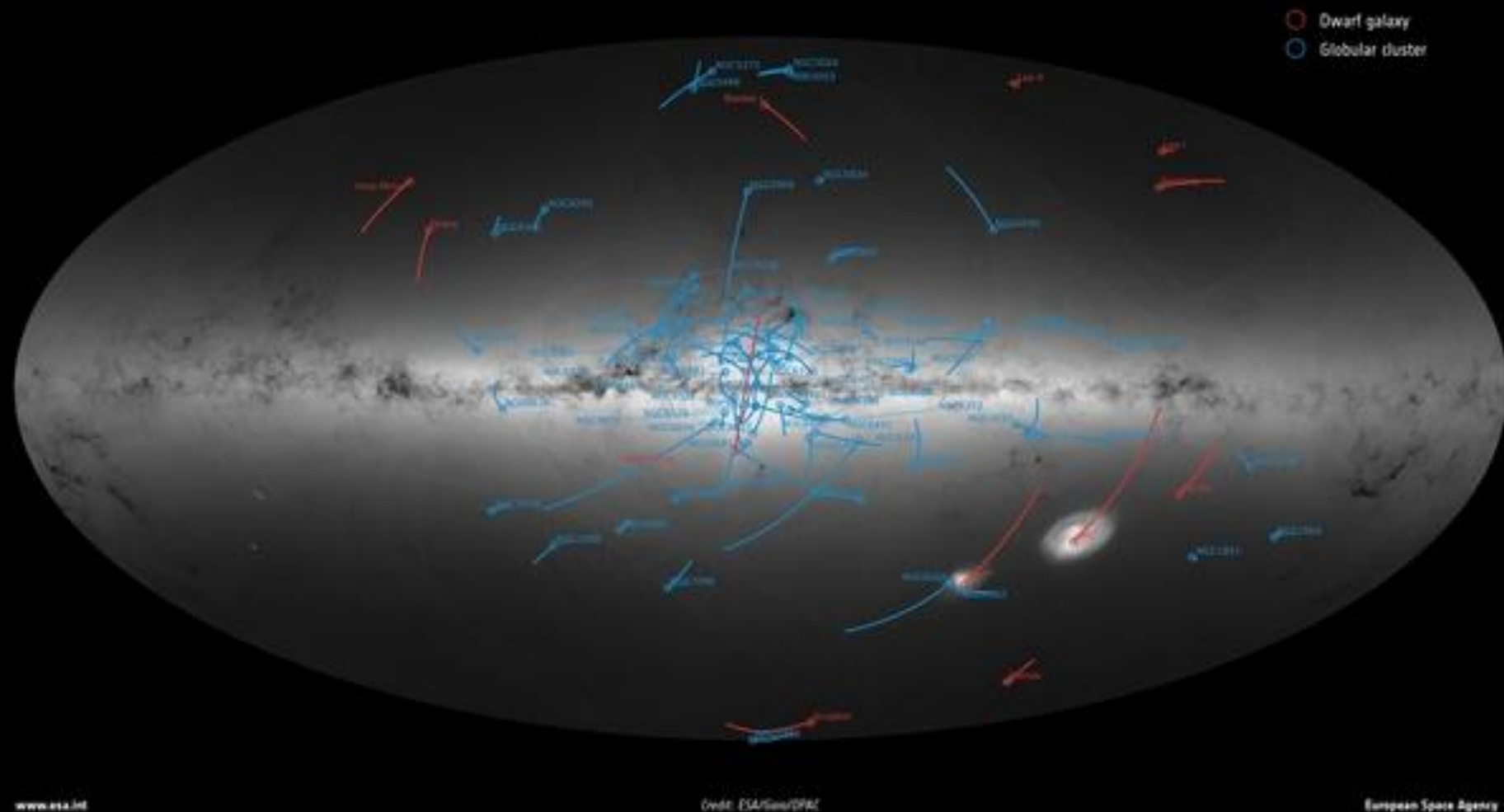
X - Rays

Accretion Disk

Neutron Star

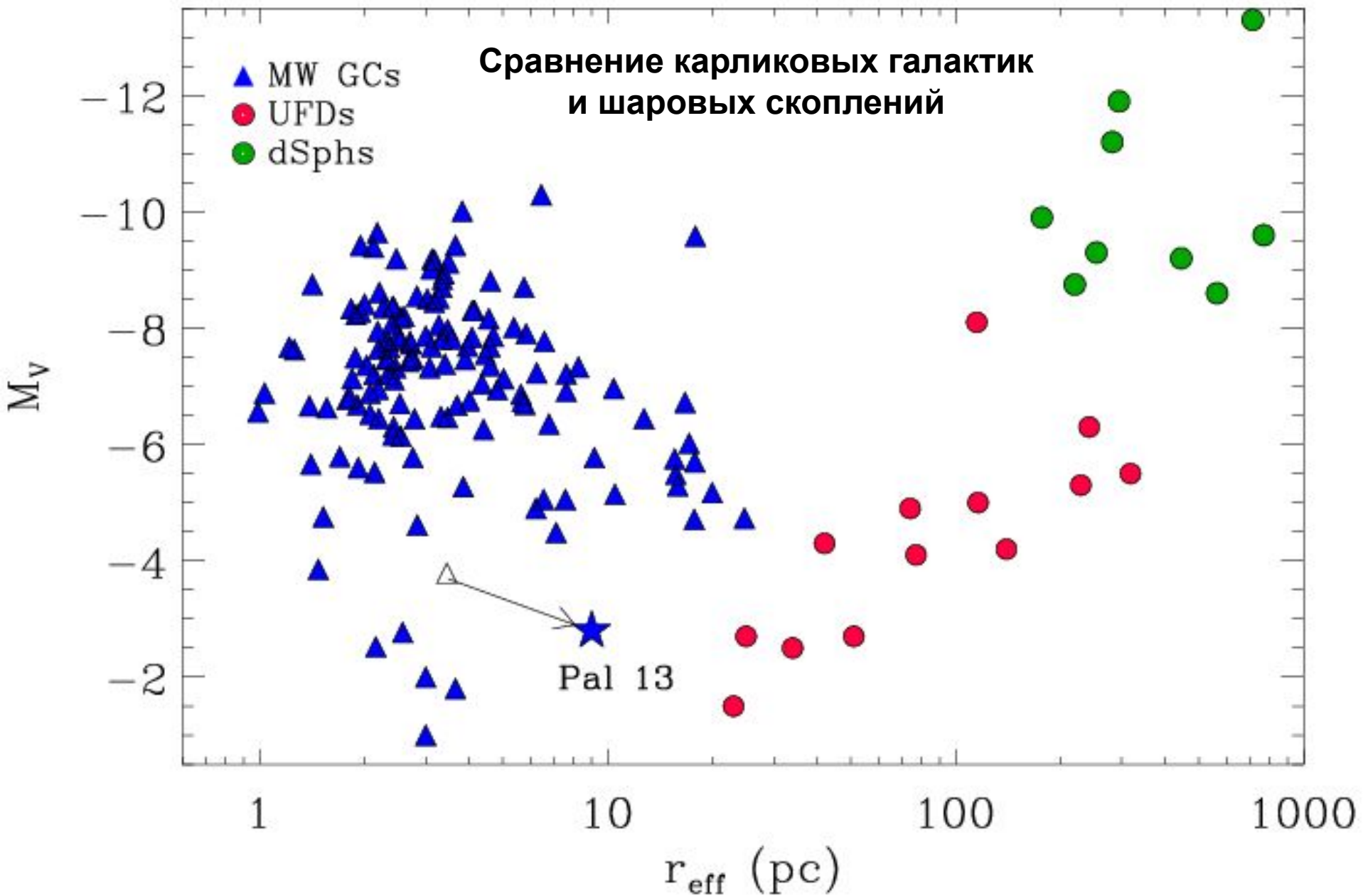
SUN

→ GAIA'S GLOBULAR CLUSTERS AND DWARF GALAXIES



Собственные движения 75 ШЗС Мл.Пути и ближайших карликовых галактик
По данным к/ап Gaia, 2019г

© Семенец Н.В. 2019г

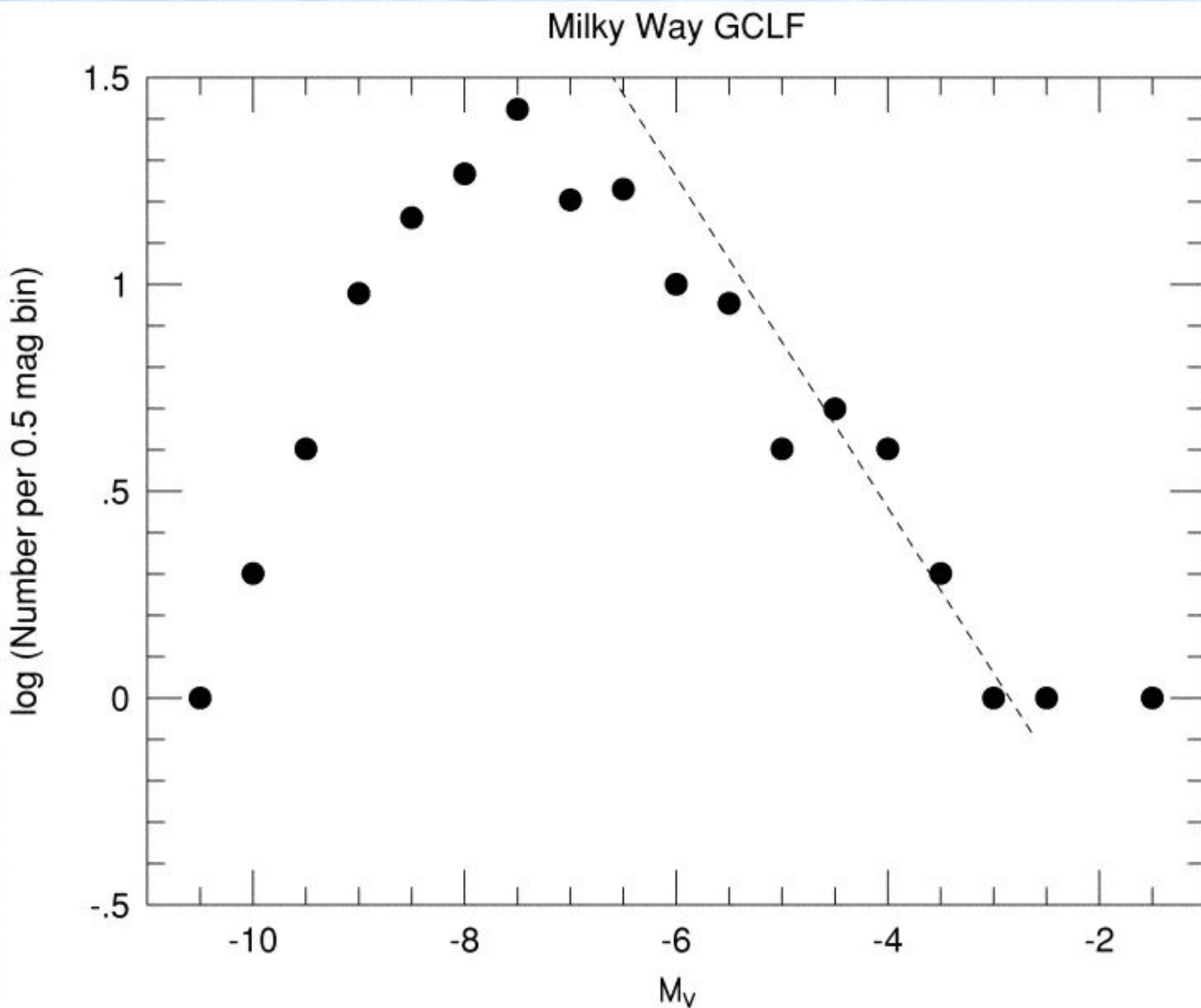


красные – ультра слабые галактики

© Семенец Н.В. 2019г

зеленые – карликовые сфероидальные галактики

Функция светимости шаровых скоплений Мл.Пути



Harris ([1999](#))

График зависимости абсолютной величины от частоты для шаровых скоплений.

$\log \varphi(M_B)$ per magnitude

2

1

0

-12

-10

-8

-6

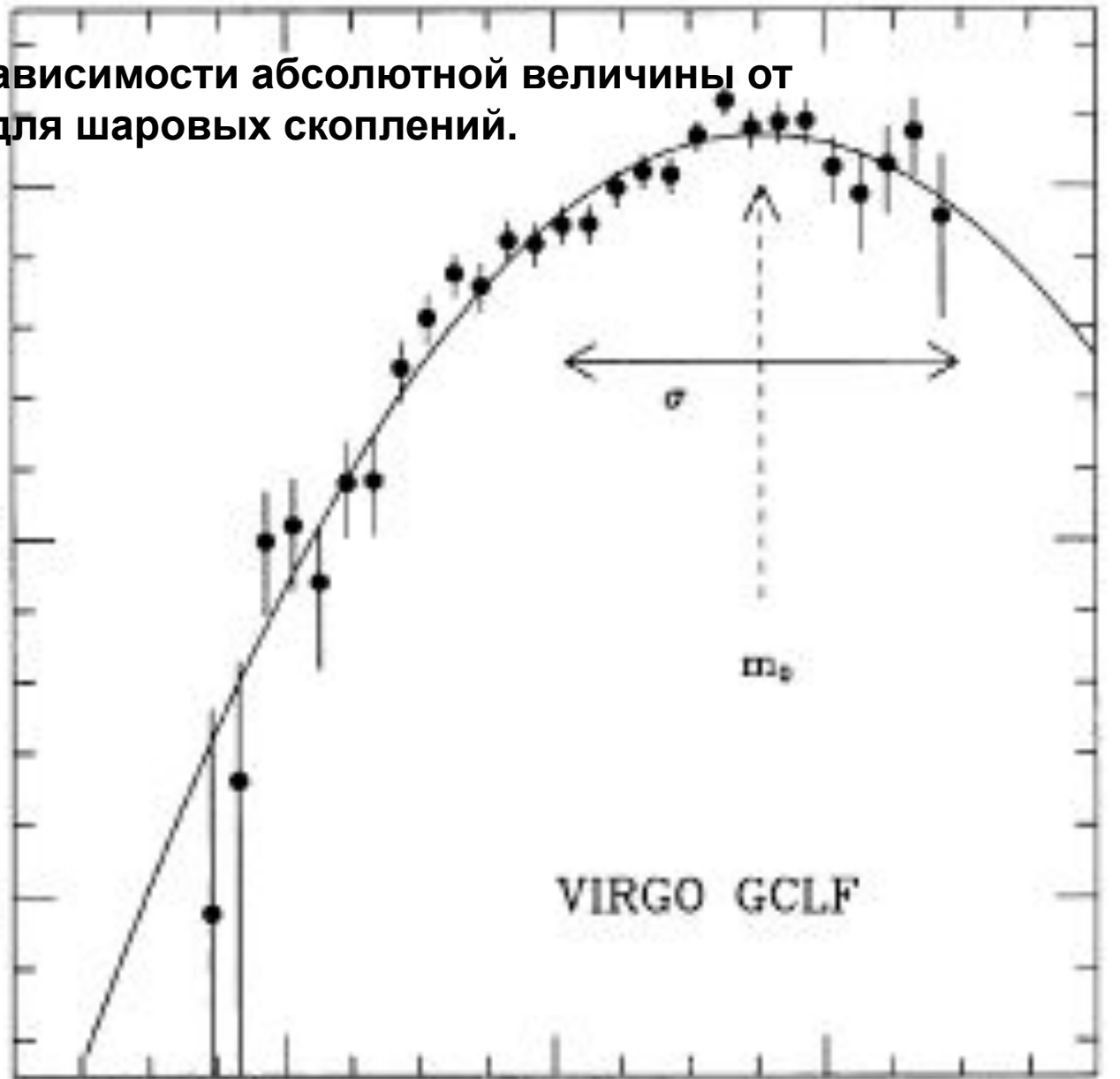
-4

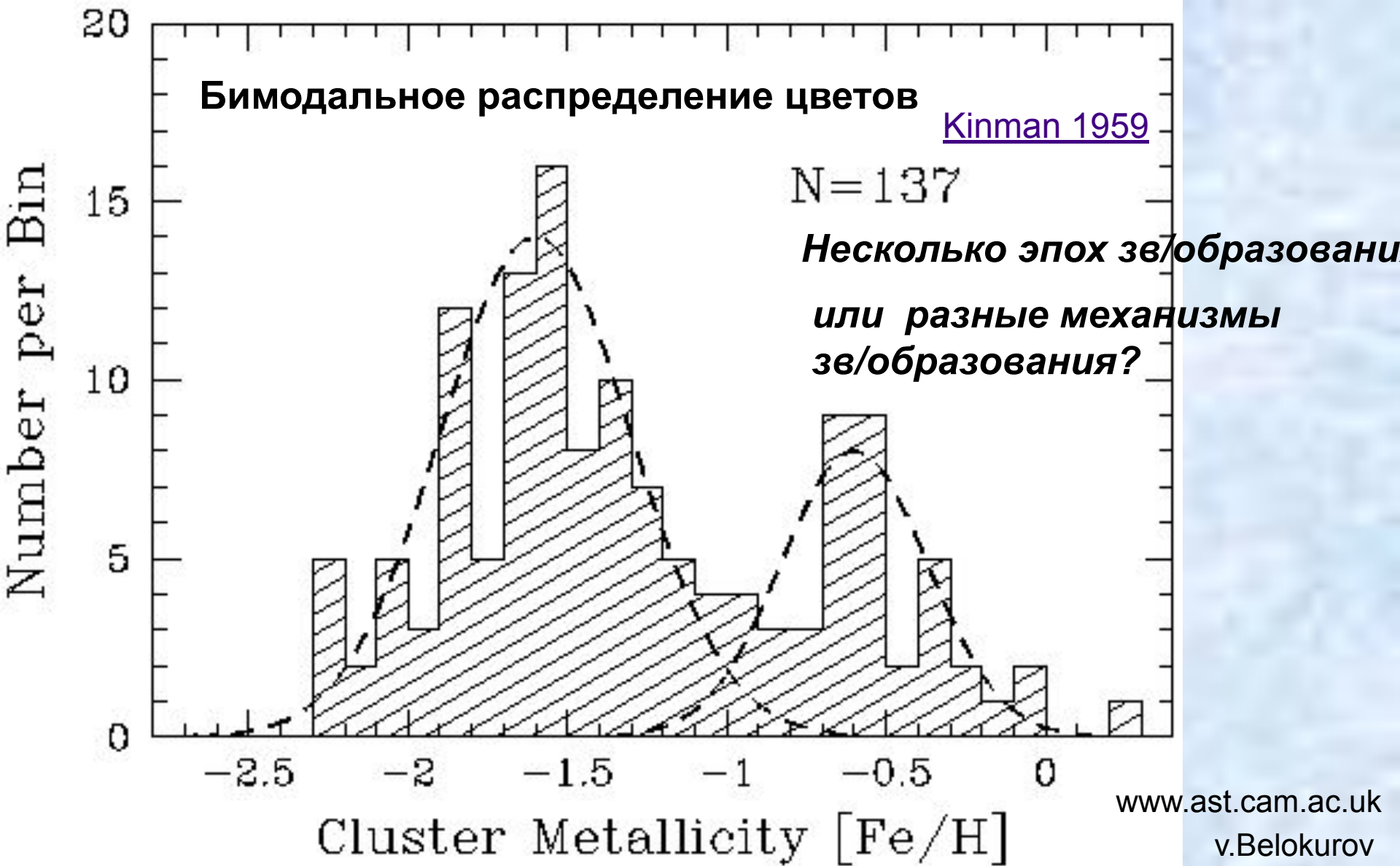
Absolute Magnitude M_B

VIRGO GCLF

m_D

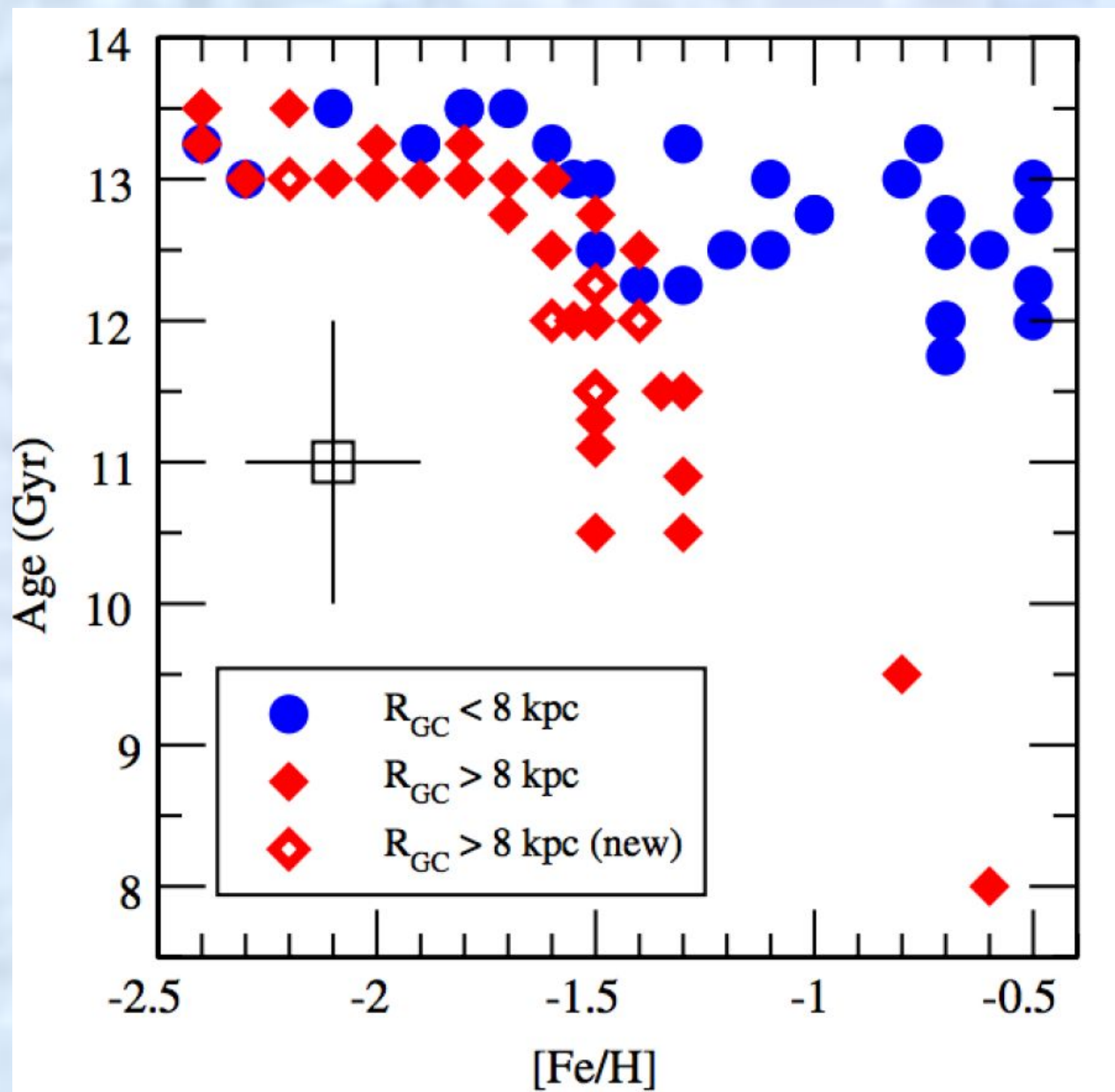
σ

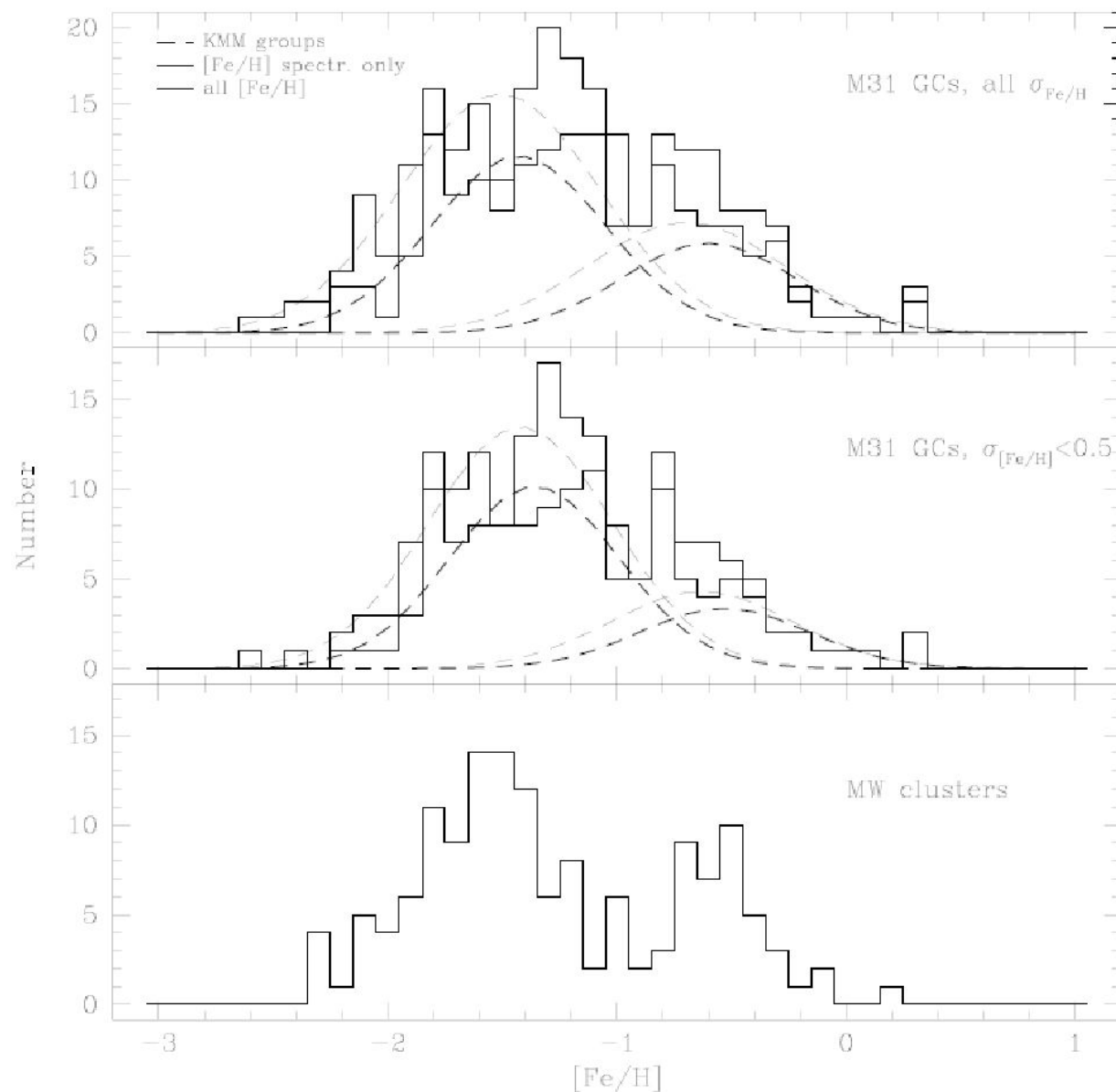




Функция распределения металличности для шаровых скоплений в Млечном Пути. Две гауссовых кривых имеют среднее значение и стандартные отклонения $(-1,6, 0,30)$ и $(-0,6, 0,23)$ и определяют компоненты с низким содержанием металлов и обогащенные металлами.

Зависимость возраст/металличность ШЗС в Мл.Пути



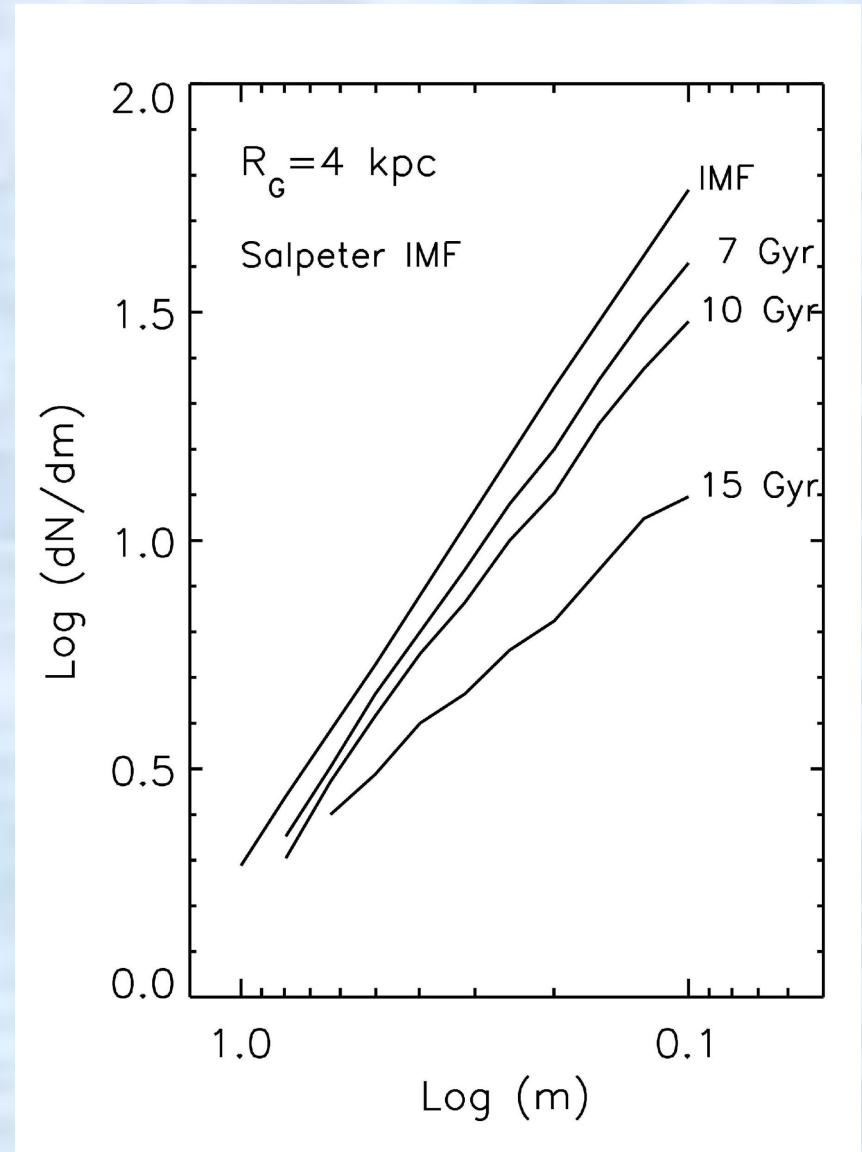


Каталог содержит новые оптические и ближние инфракрасные фотометрические данные для большинства из 435 шаровых скоплений и кандидатов в скопления. Радиальное распределение и кинематика двух групп металличности M31 подразумевают, что они являются аналогами подсистем шаровых скоплений Мл.Пути ``гало" и ``диск/ балдж"

Fig. 19.— $[Fe/H]$ distribution for M31 GCs, subdivided by metallicity source and uncertainty, and Galactic GCs.

Взаимодействие шаровых скоплений с галактикой

- Испарение (релаксация)
- Ударное влияние диска галактики (сжатие)
- Обдирание балджем
- (Приливные хвосты)
- Потеря звезд из-за вытянутых орбит, сегрегация по массам: массивные “спускаются” в центр
- Движение по орбите со временем меняет массы, меняя начальную функцию масс



(Vesperini & Heggie 1997)

Модели формирования ШЗС/галактик

1. Формирование эллиптич.гал/ШЗС

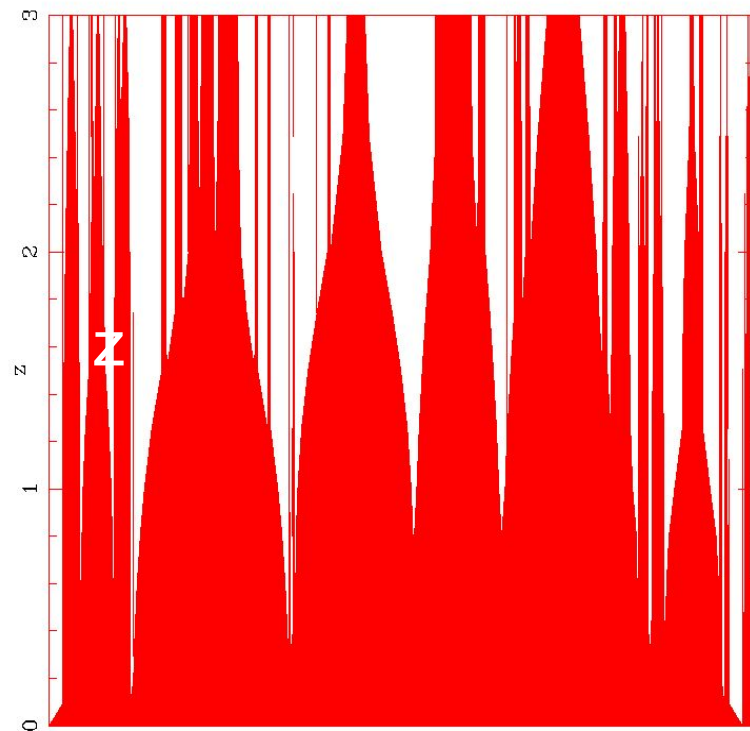
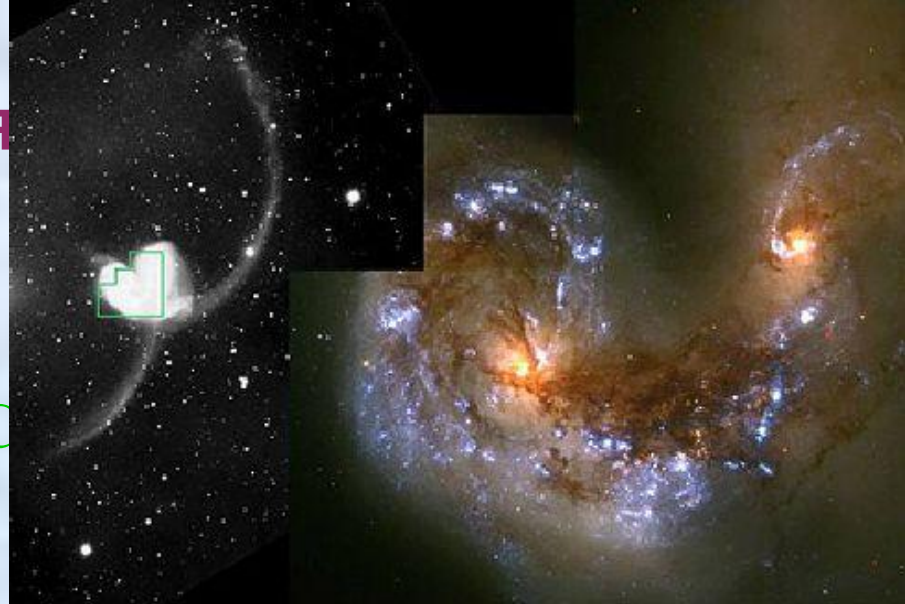
в слияниях (Schweizer 1987,
Ashman & Zepf 1992)

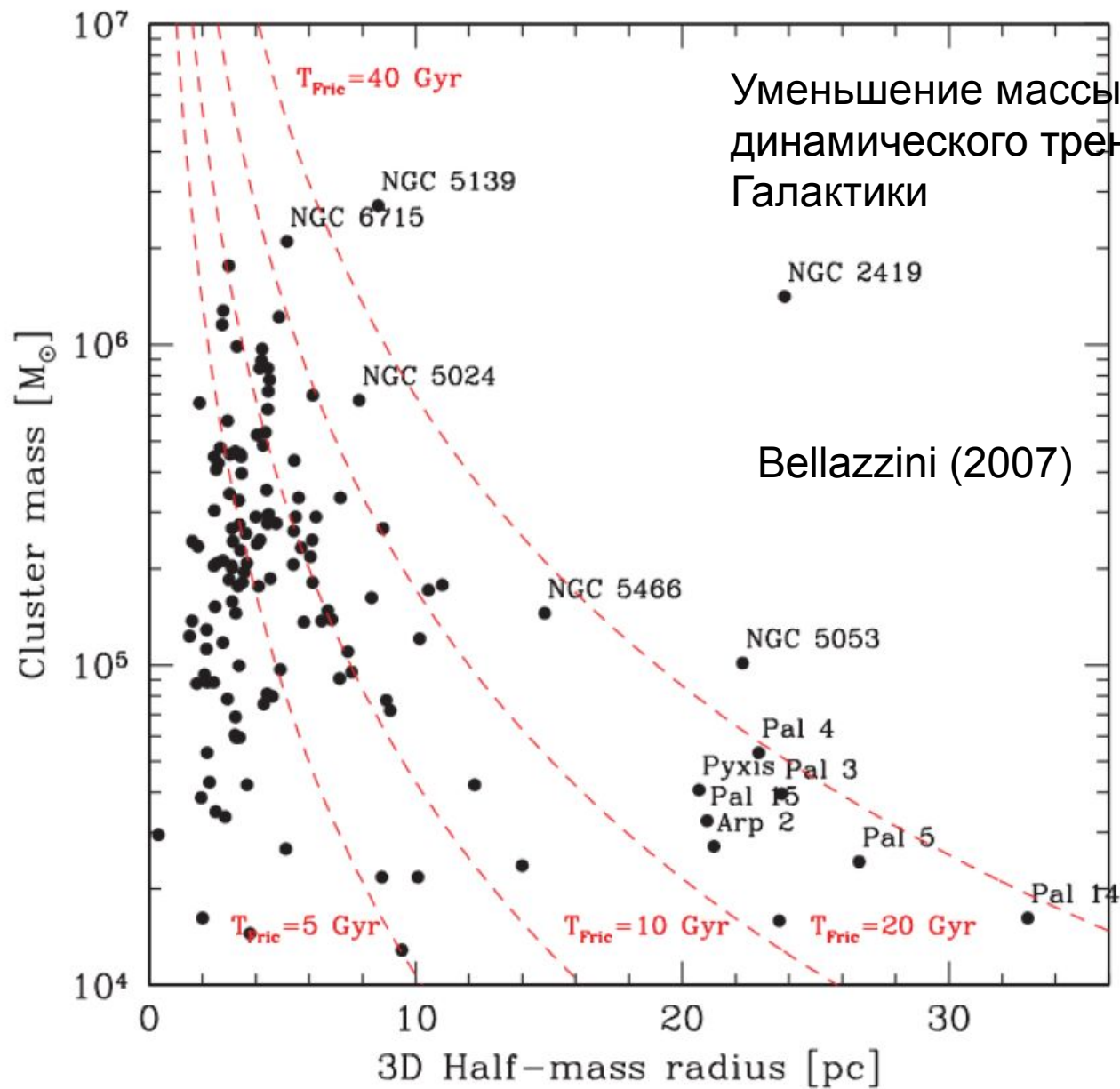
2. Местный коллапс в несколько фаз (Forbes, Brodie & Grillmair 1997)

3. Аккреция/обдиране (Cote' et al. 1998)

4. Иерархические слияния (Beasley et al. 2002)

2 и 4 требуют уменьшения темпа
образования ШЗС на больших
красных смещениях



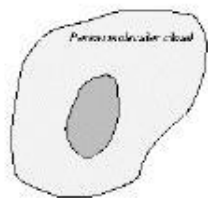


T_{fric} (красный цвет) – время динамического трения для ШЗС Мл.Пути
 У большинства ШЗС T_{fric} меньше хаббловского, значит ниже содержание темной материи.

Low- Mass Stars

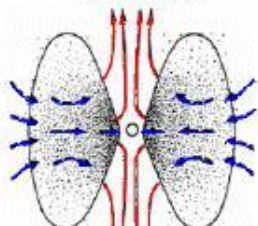
(after Lada 1987, Andre,
Ward-Tompson & Barsony, 1993)

Prestellar Core



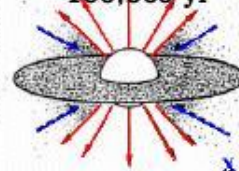
Submillimeter Protostar

Class 0



Infrared Protostar 100,000 yr

Class I



T Tauri star 1,000,000 yr

Class II



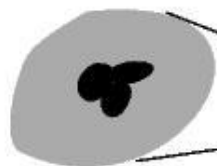
Evolved T Tauri 10,000,000 yr

Class III

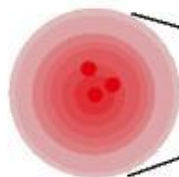


Massive Stars

Prestellar Core(s?)



Hot Multi-Cores?



Ultra-Compact HII Region (UCHII)

few x100,000 yr



OB Star (w/accretion remnants?) <1 Myr

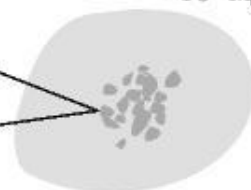


OB star



Massive Clusters

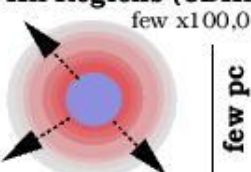
Massive Molecular Aggregates ? $>10^6 M_{\odot}$



Massive Submillimeter Aggregates ?



Massive Ultra-Dense HII Regions (UDHII) few x100,000 yr



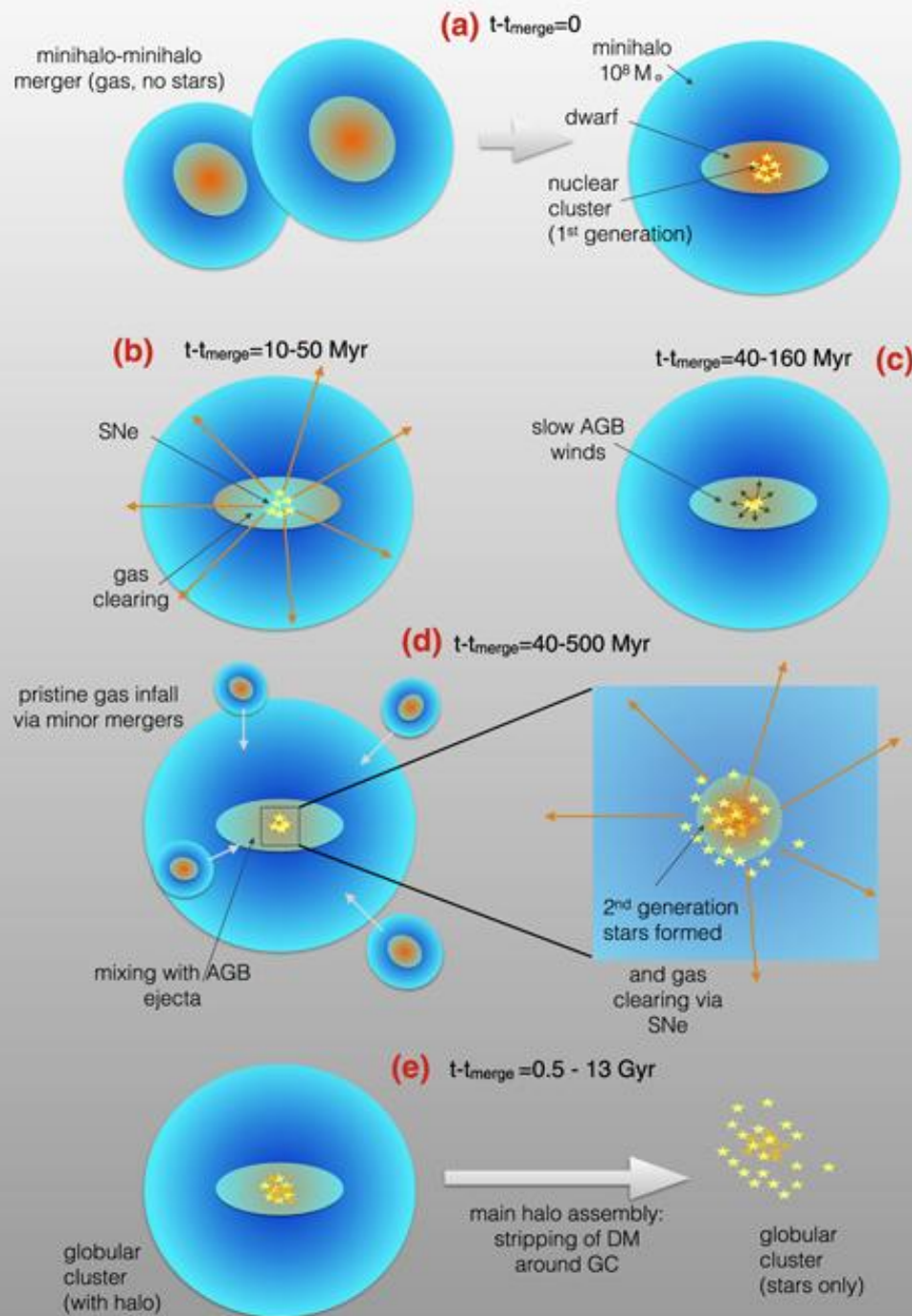
Young Super Starcluster 1-3 Myr



Super Starclusters -> Globular Clusters? 3 Myr - 13 Gyr



Эволюция звезд и скоплений

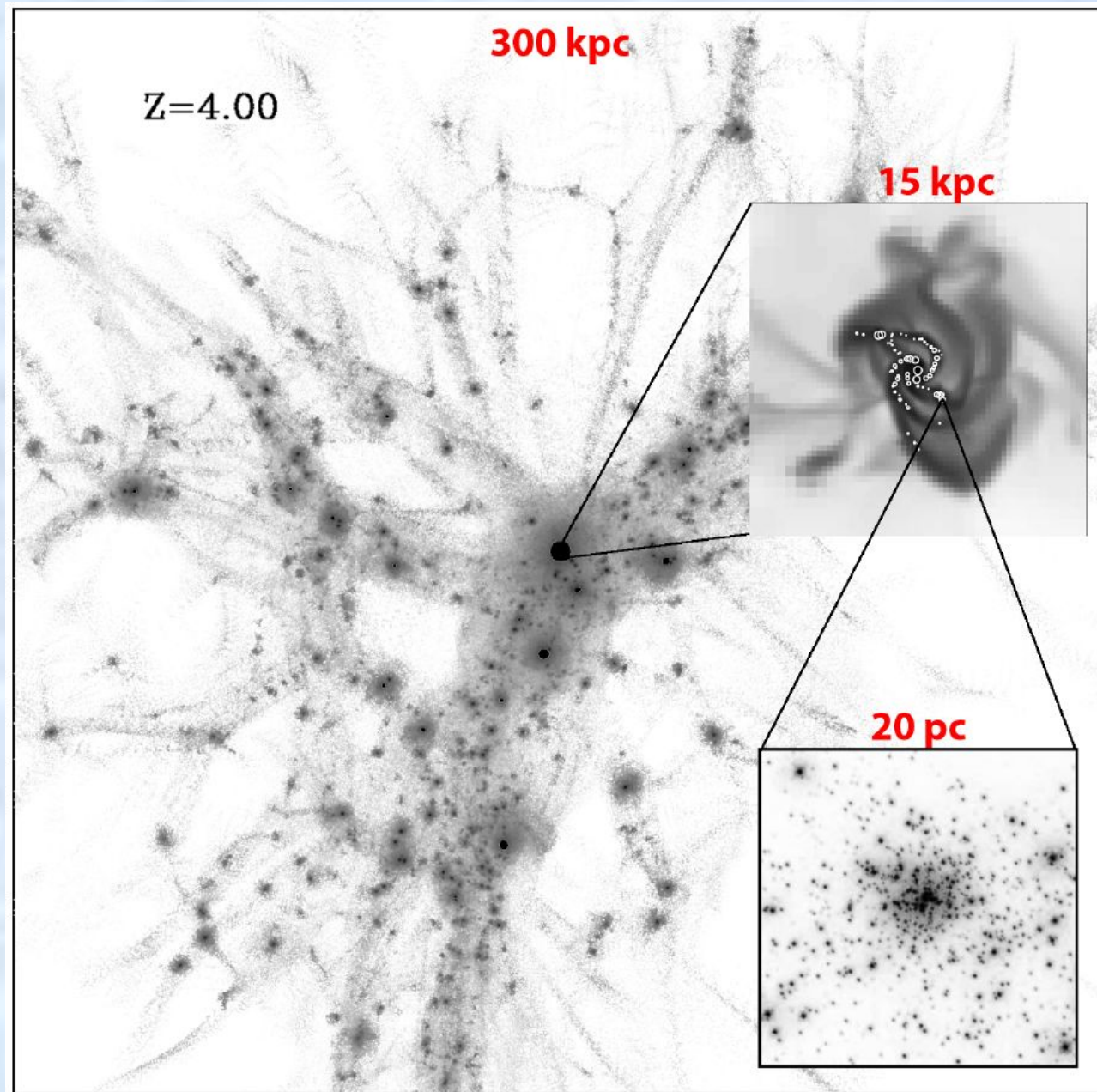


Модель формирования шаровых скоплений

Michele Trenti, Paolo Padoan, and Raul Jimenez

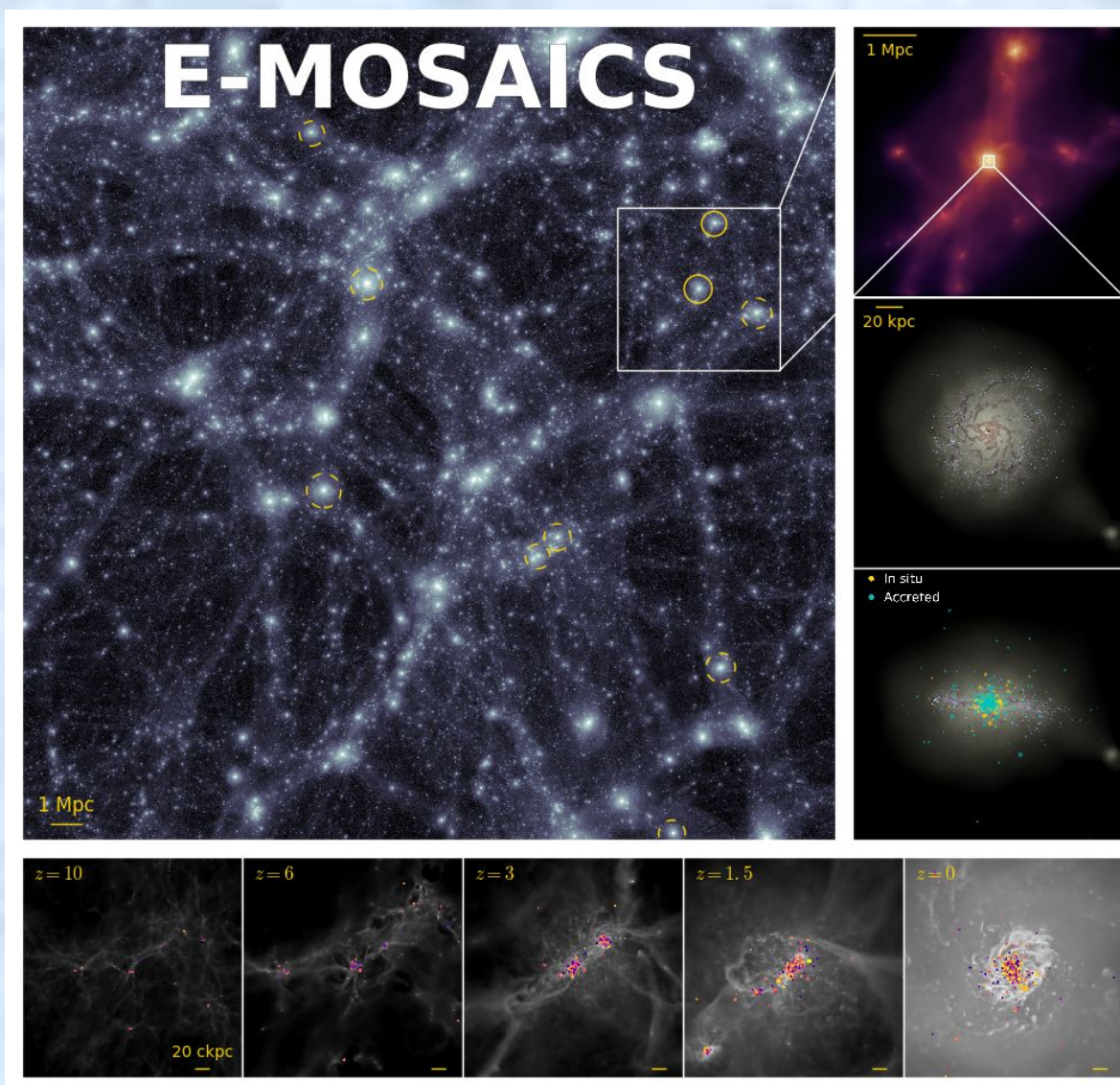
2015. The American Astronomical Society

Численное моделирование формирования шаровых скоплений



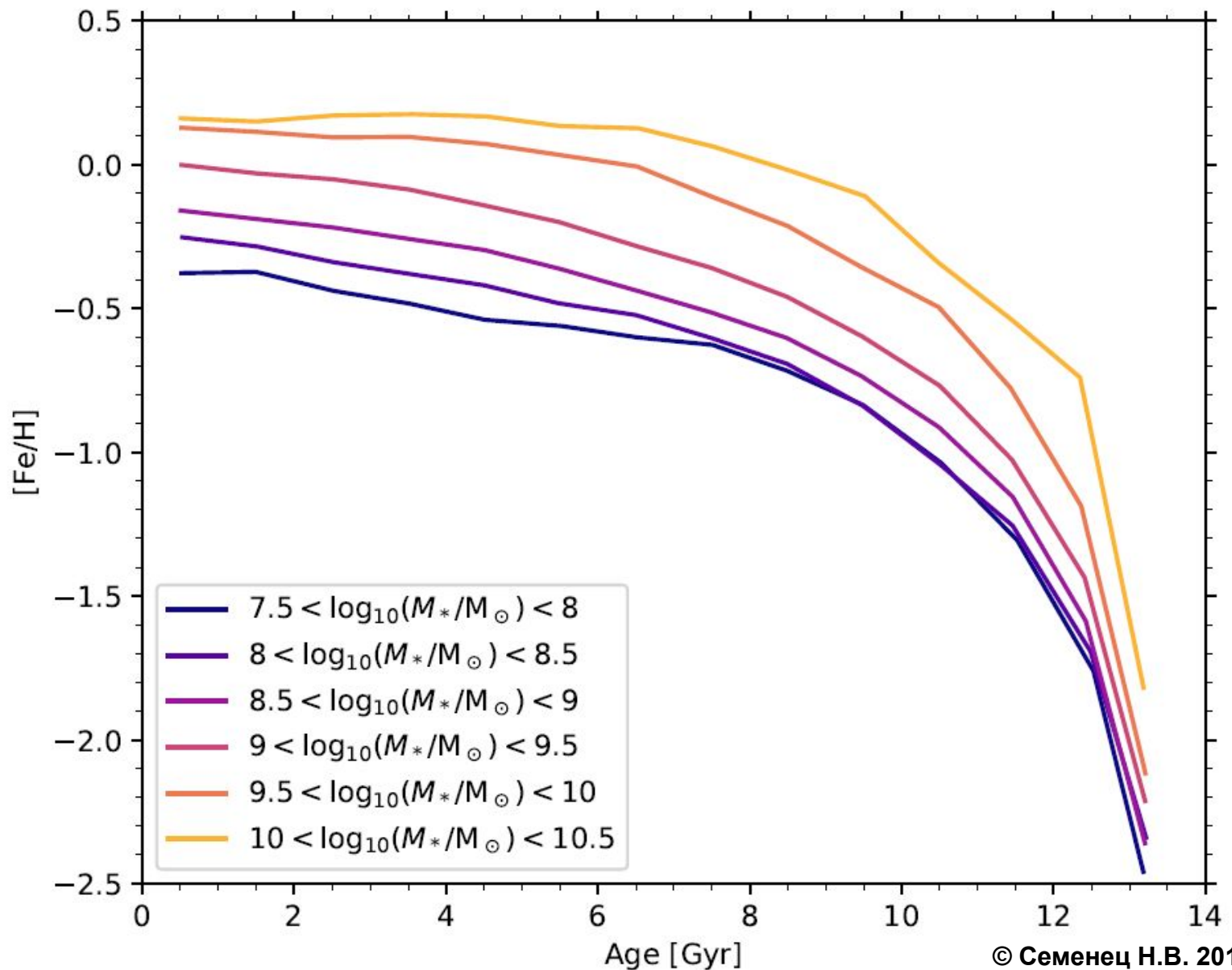
E-MOSAICS: формирование галактики и сборка шаровых скоплений

Численное моделирование



История изменения хим.состава в галактиках в зависимости от массы галактик

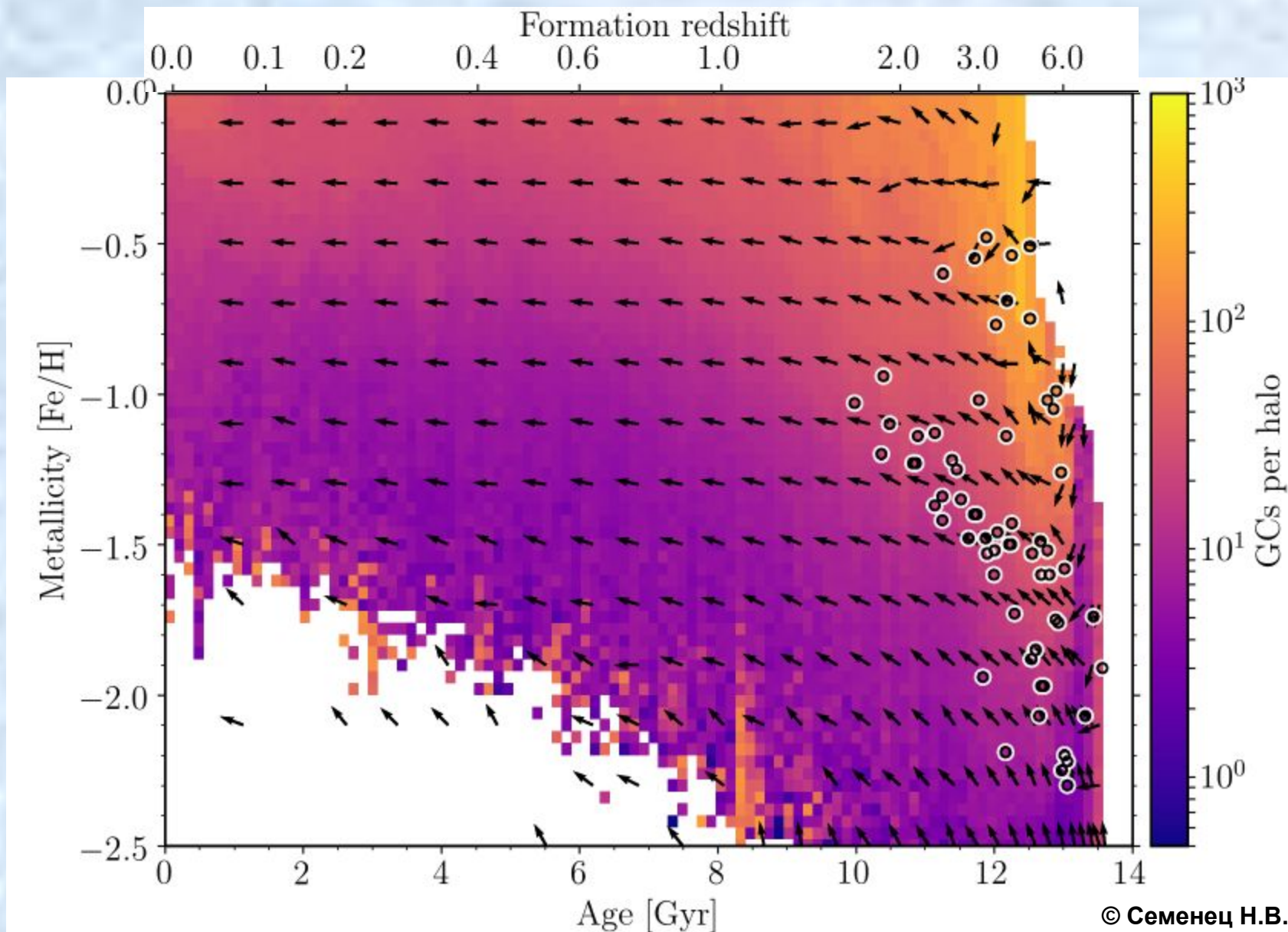
(e.g. Forbes & Bridges 10; Leaman+ 13)



Изменение количества шаровых скоплений в Млечном Пути за 13,7млрд лет

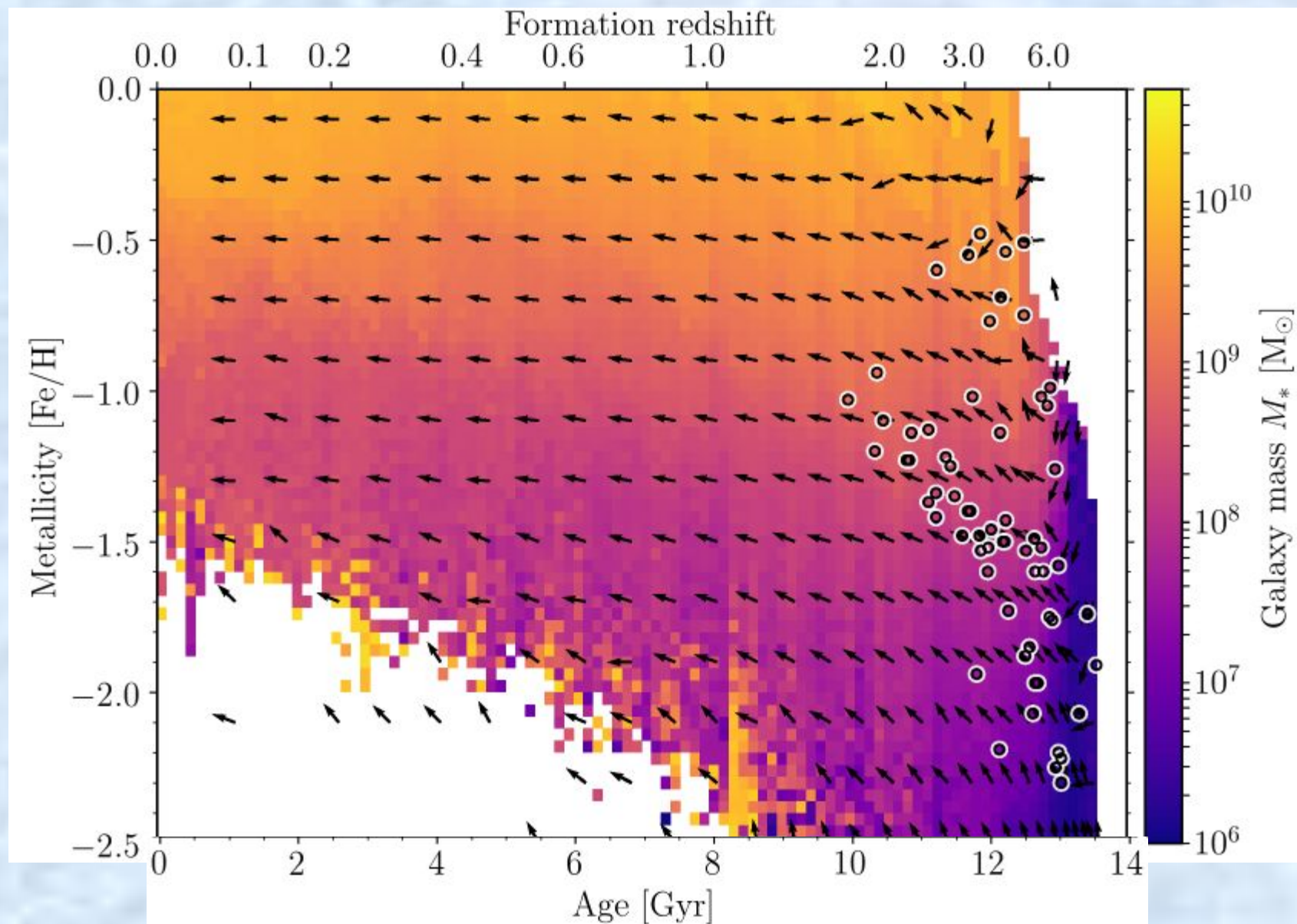
(Kruijssen, Pfeffer+ 2018,
MNRAS, arXiv:1806.05680)

Мл.Путь аккрецировал 2 галактики $\sim 10^9 M_{\odot}$ с ~ 20 ШЗС и $\sim 10^8 M_{\odot}$ с ~ 8 ШЗС



Зависимость возраст/металличность ШЗС является индикатором истории эволюции массы Мл.Пути

(Kruijssen, Pfeffer+ 2018,
MNRAS, arXiv:1806.05680)



<http://astropixels.com/globularclusters/M15-01.html>

[https://ru.wikipedia.org/wiki/M_15_\(%D1%88%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/M_15_(%D1%88%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5))

https://pikabu.ru/story/pochemu_ne_vidno_zvezd_12_5897486

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BB%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%9F%D1%83%D1%82%D1%8C#/media/Файл:Milky_way_profile-ru.svg

https://www.reddit.com/r/space/comments/cadmap/i_annotated_a_shot_of_the_milky_way_so_you_can/

<https://www.cloudynights.com/topic/79566-light-gathering-vs-magnitude/>

<http://www.astro-pat.com/StarClusters/GlobComparison-040409.htm>

<https://sci.esa.int/web/gaia/-/60211-gaia-s-globular-clusters-and-dwarf-galaxies-with-orbits>

<https://calgary.rasc.ca/globulars.htm>

<https://fis.wikireading.ru/1785>

https://www.researchgate.net/figure/m-F275W-vs-m-F275W-m-F814W-CMD-of-NGC-2808-The-m-F275W-F336W-F814W-against_fig1_277145075 **arXiv:1505.05934v1**

<https://phys.org/news/2009-12-vampires-collisions-rejuvenate-stars.html>

http://www2.naic.edu/~pfreire/GCpsr_121008.html

<https://iopscience.iop.org/article/10.1086/312356/fulltext/995465.fg1.html>

<https://www.slideserve.com/dolan/ne-utron-capture-elements-in-m15>

arXiv:1110.0484 **Structure and Dynamics of the Globular Cluster Palomar 13**

<https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Harris2/Harris1.html>

<https://postnauka.ru/faq/6482>

Work in collaboration with F. Paresce (INAF) and L. Pulone (Obs. Rome)

Constraints on Secular Evolution from Star Clusters in Spirals and Lenticulars

Jean P. Brodie UCO/Lick Observatory University of California Santa Cruz

<https://www.icrar.org/globularclusterformation/>

<https://arxiv.org/abs/1801.05818>

<http://www.mpia.de/homes/stein/EPoS/2012/2012obje.php>

https://www.ast.cam.ac.uk/~vasily/Lectures/SDSG/sdsg_7_clusters.pdf

Stellar Dynamics and Structure of Galaxies 2016r Vasily Belokurov

<https://phys.org/news/2017-09-pulsar-jackpot-reveals-globular-cluster.html>

1212.5071 Dynamical age differences among coeval star clusters as revealed by blue stragglers

2004r Star Clusters and Stellar Dynamics

2011r School of Astrophysics \Francesco Lucchin« Dynamical Evolution of Globular Clusters

<http://www.astro.ljmu.ac.uk/~astjpfef/e-mosaics/downloads>

Спасибо за внимание!



Семенец Николай 16.11.2019г, СПАГО, г.Санкт-Петербург