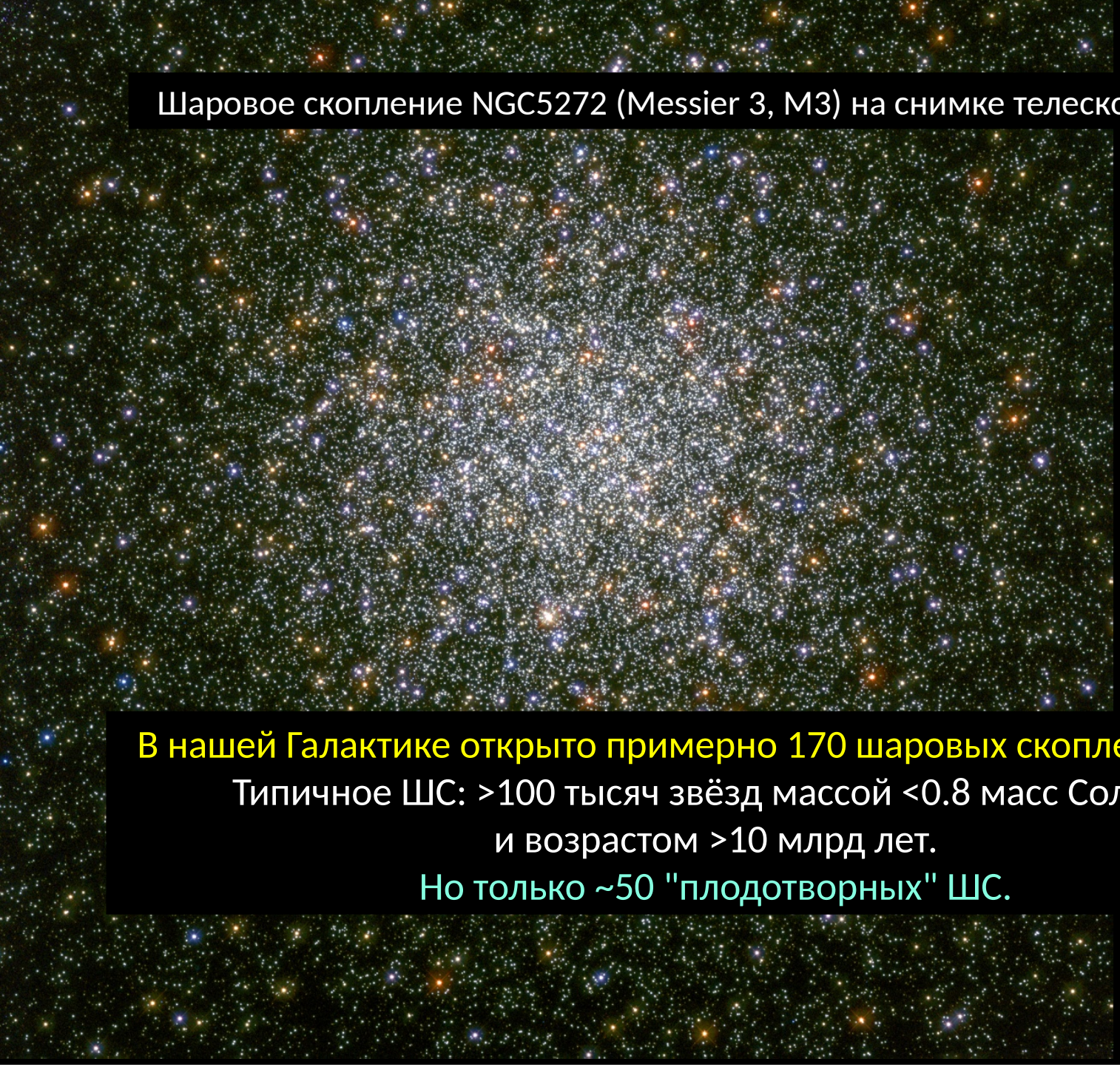
# Новые оценки возраста самых старых шаровых скоплений Галактики

Г.А.Гончаров, , С.С.Савченко, А.А.Марчук, О.С.Рютина, М.Ю.Ховричев, В.Б.Ильин, А.В.Мосенков, Д.М.Поляков, А.А.Смирнов

Участвующие организации:
1. Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской Академии наук, Российская Федерация, 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65/1
2. Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9
3. Department of Physics and Astronomy, N283 ESC, Brigham Young University, Provo, UT 84602, USA
4. Санкт-Петербургский государственный университет Аэрокосмического приборостроения, Российская Федерация, 190000, Санкт-Петербург, Большая Морская улица 67А
5. Специальная астрофизическая обсерватория Российской Академии наук, Российская Федерация, 369167, Нижний Архыз

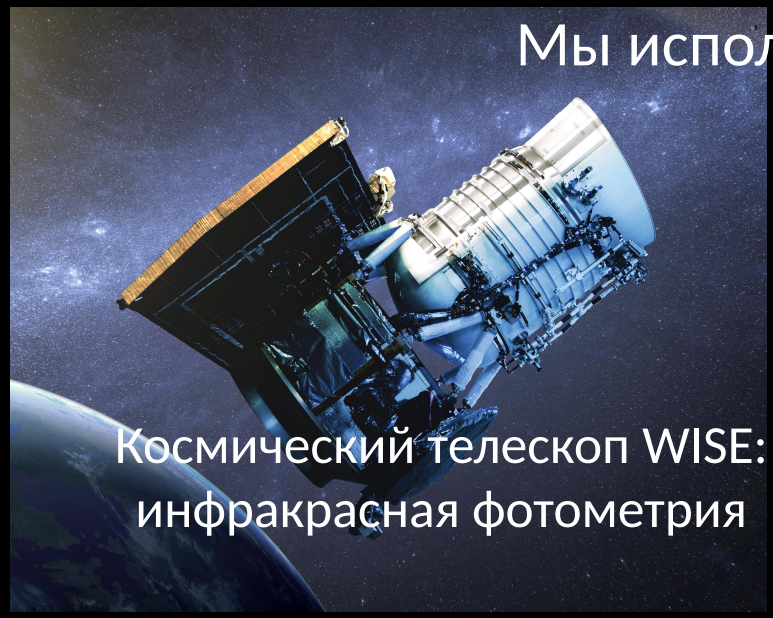
**Выполнено по гранту РНФ 20-72-10052.**



Шаровое скопление NGC5272 (Messier 3, M3) на снимке телескопа Hubble.

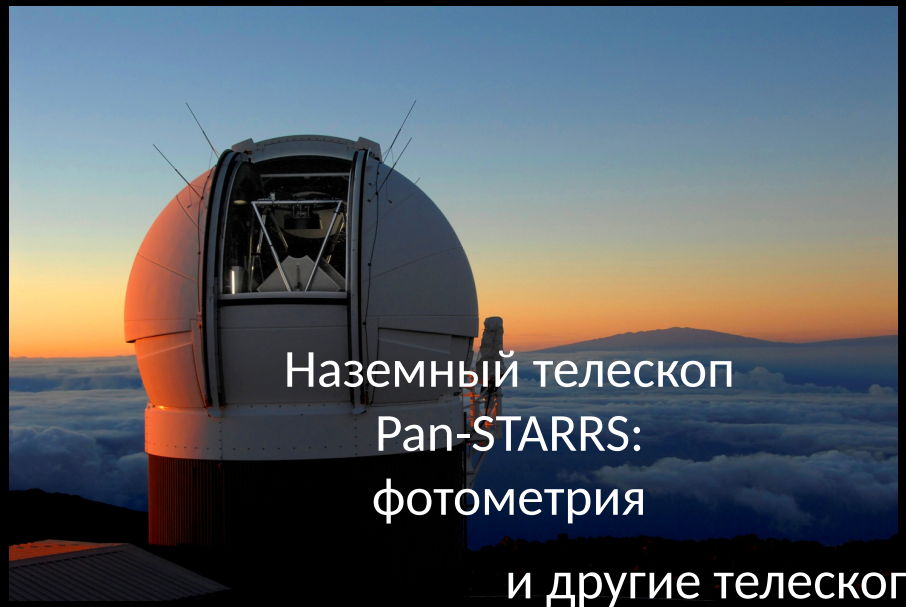
В нашей Галактике открыто примерно 170 шаровых скоплений (ШС).
Типичное ШС: >100 тысяч звёзд массой <0.8 масс Солнца
и возрастом >10 млрд лет.
Но только ~50 "плодотворных" ШС.

Мы использовали:



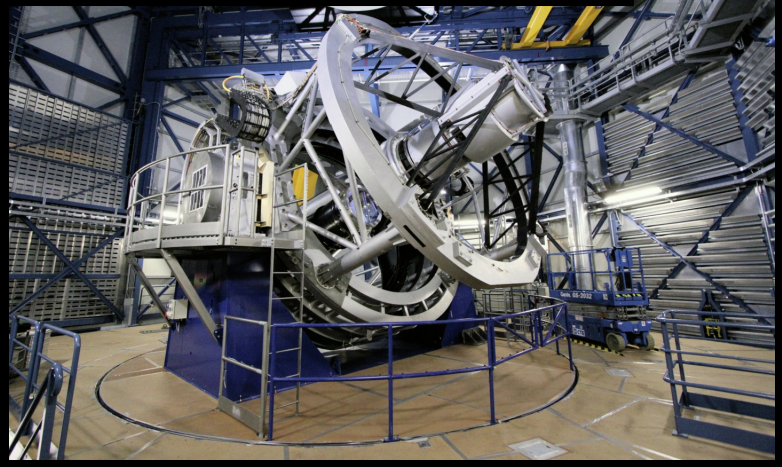
Космический телескоп WISE: инфракрасная фотометрия

Наземный телескоп SkyMapper: фотометрия

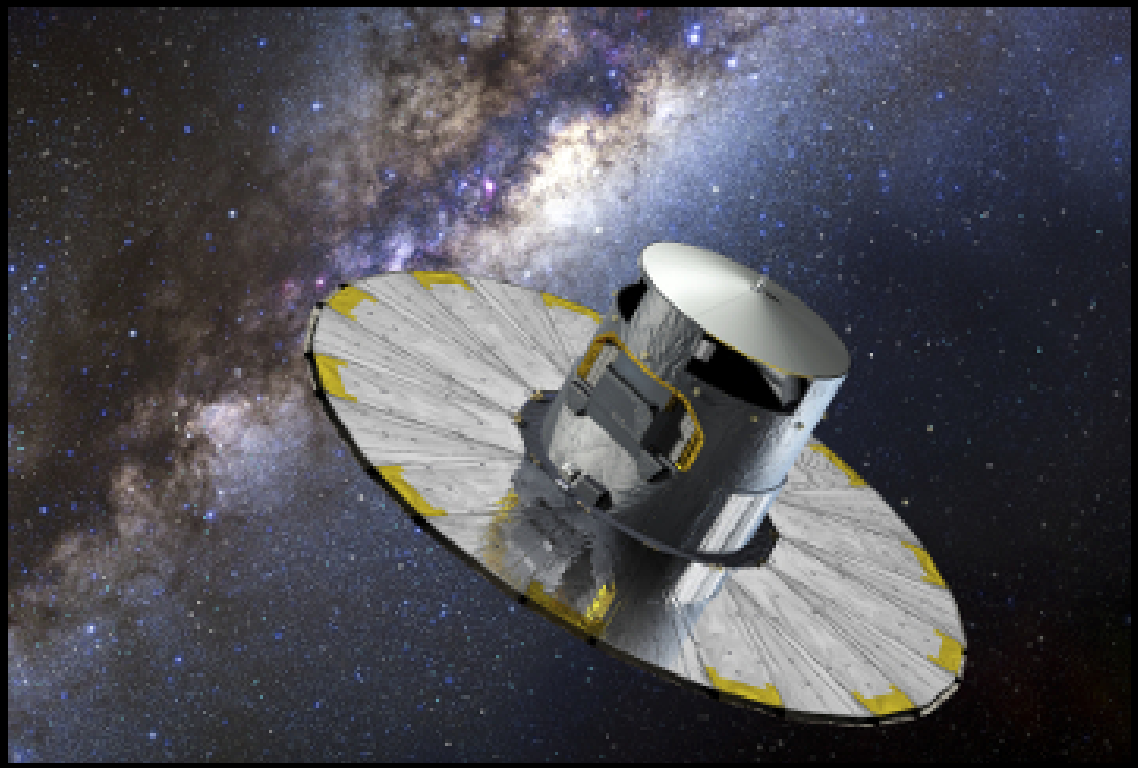


Наземный телескоп Pan-STARRS: фотометрия

Наземный телескоп VISTA: фотометрия



и другие телескопы



Космический телескоп Gaia недавно
получил фотометрию, параллаксы и собственные движения звёзд скоплений:
Gaia Data Release 3 (DR3) - Vallenari A. et al., 2023, A&A, 674, A1,
что позволило достоверно отобрать члены скоплений.

# Hubble Space Telescope

недавно получил фотометрию во множестве фильтров, параллаксы и собственные движения звёзд скоплений:

Nardiello D. et al., 2018, MNRAS, 481, 3382

Simioni M. et al., 2018, MNRAS, 476, 271

Libralato M. et al., 2022, ApJ, 934, 150

**Используемые нами [лучшие?] теоретические модели внутреннего строения и эволюции звёзд:**

**Bag of Stellar Tracks and Isochrones (BaSTI)**
**http://basti-iac.oa-abruzzo.inaf.it/**
**Pietrinferni et al., 2021, ApJ, 908, 102**

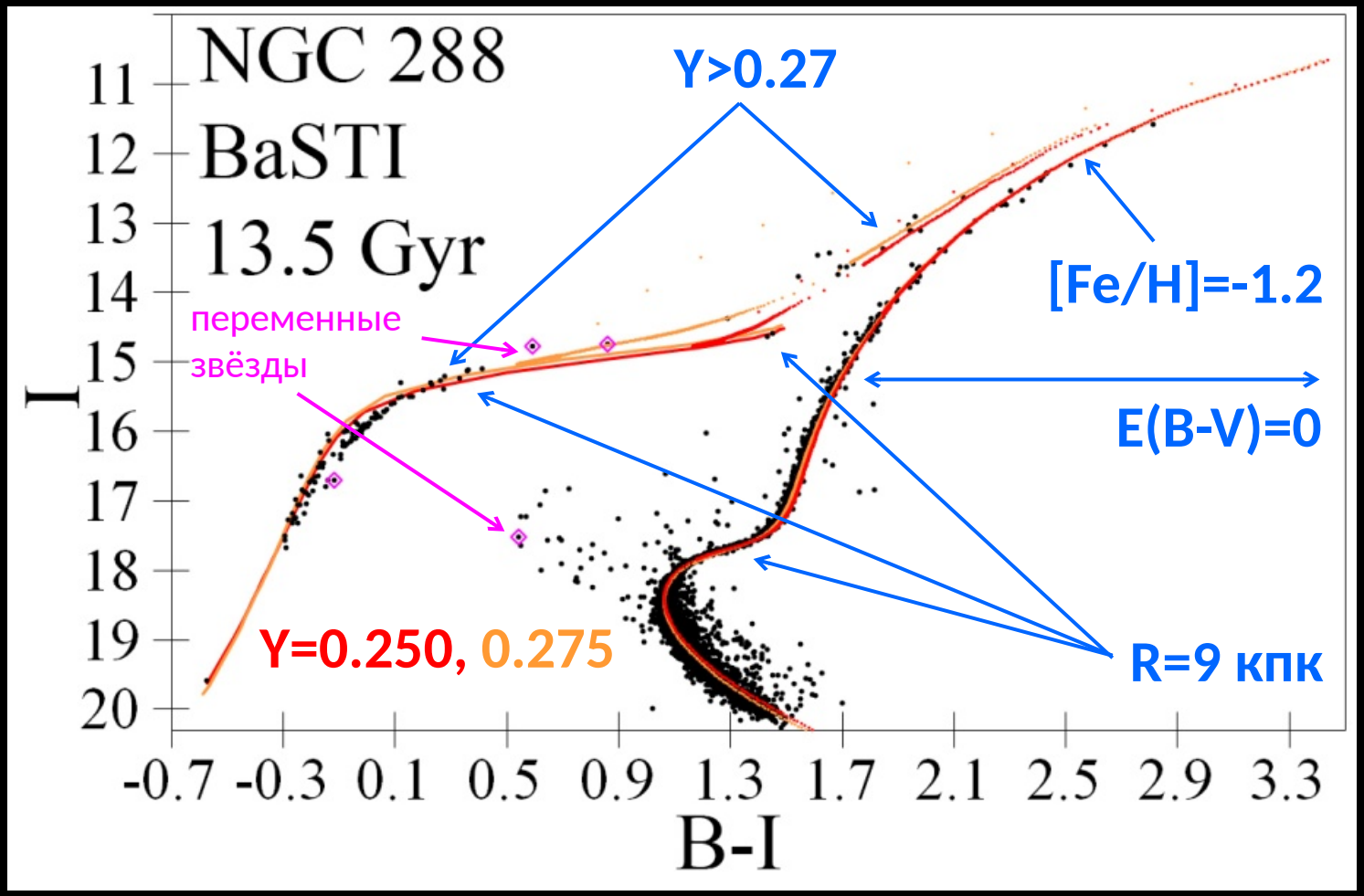
**Princeton-Goddard-PUC (PGPUC)**
**http://www2.astro.puc.cl/pgpuc/**
**Valcarce et al., 2012, A&A, 547, 5**

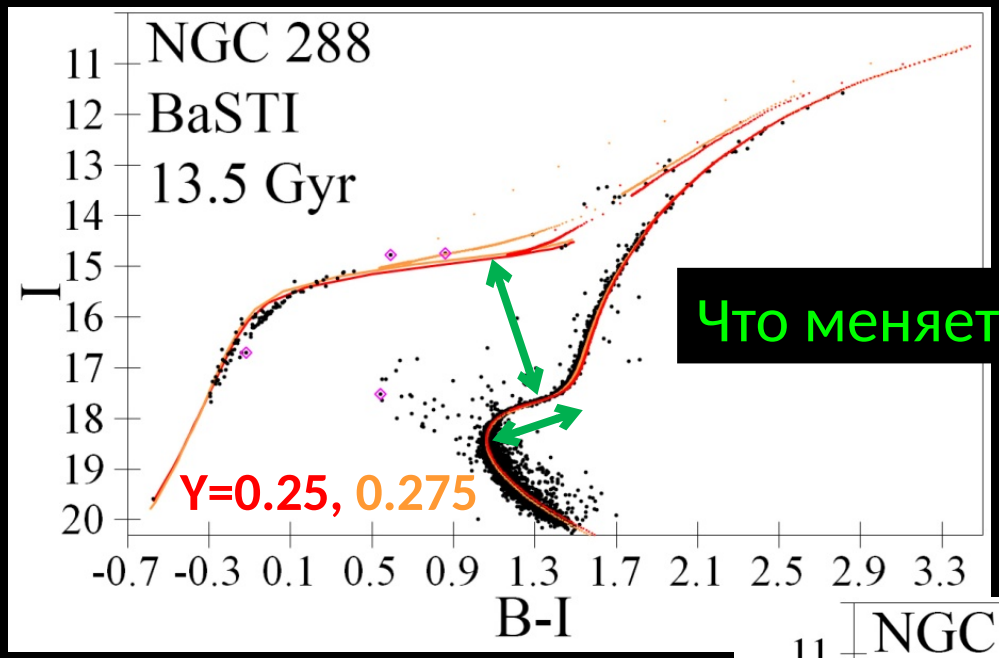
**Victoria-Regina models (VR)**
**https://www.canfar.net/storage/list/VR**
**VandenBerg et al., 2014, ApJ, 794, 72**

Dartmouth Stellar Evolution Database
(DSED)
http://stellar.dartmouth.edu/models/
Dotter et al., 2008, ApJS, 178, 89

Учтены:
обогащение альфа-элементами
гелиевая вспышка
стохастическая потеря массы
конвективное перемешивание
диффузия
вращение звёзд
...
= кажется, учтено всё.

Пример - скопление NGC288, l=151°, b=-89°, расстояние от Солнца R≈9 кпк, отбор членов с помощью параллаксов и собственных движений Gaia DR3, фотометрия Stetson+2024 с [Fe/H]=-1.2, [α/Fe]=+0.4, E(B-V) ≈ 0 даёт лучшее решение:

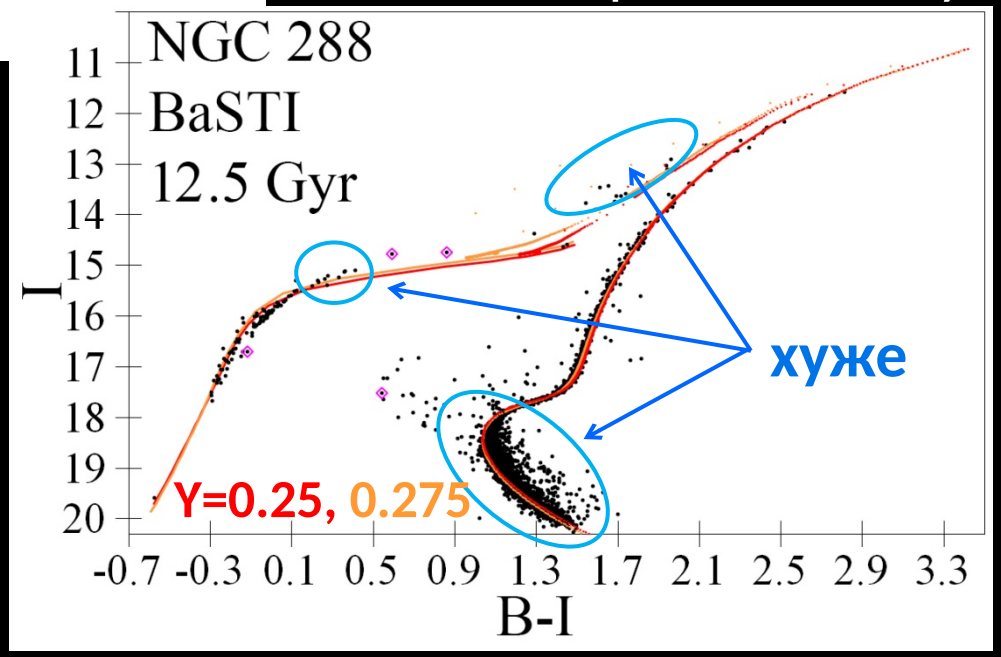




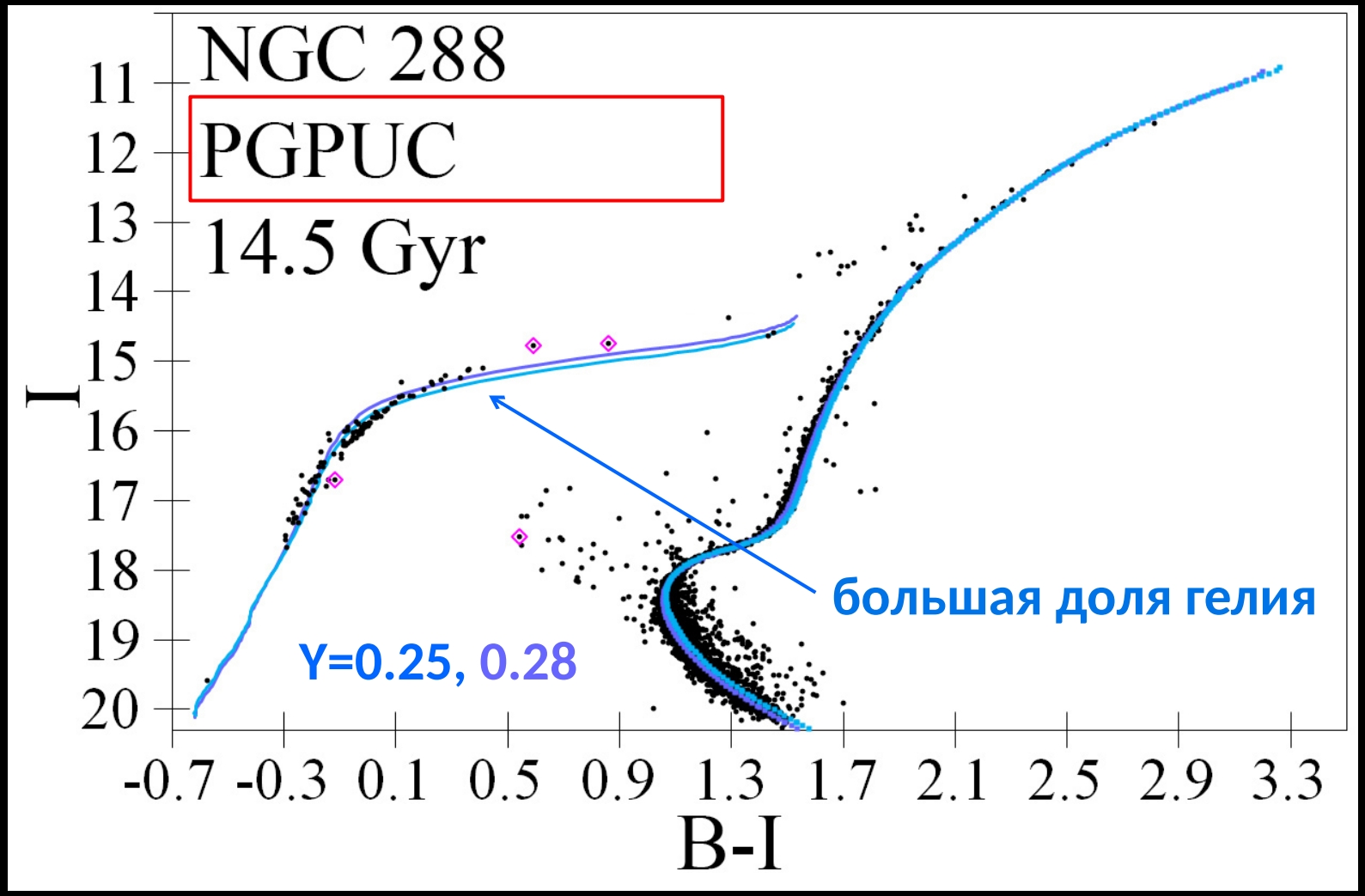

<- Лучшее решение

Что меняется с возрастом?

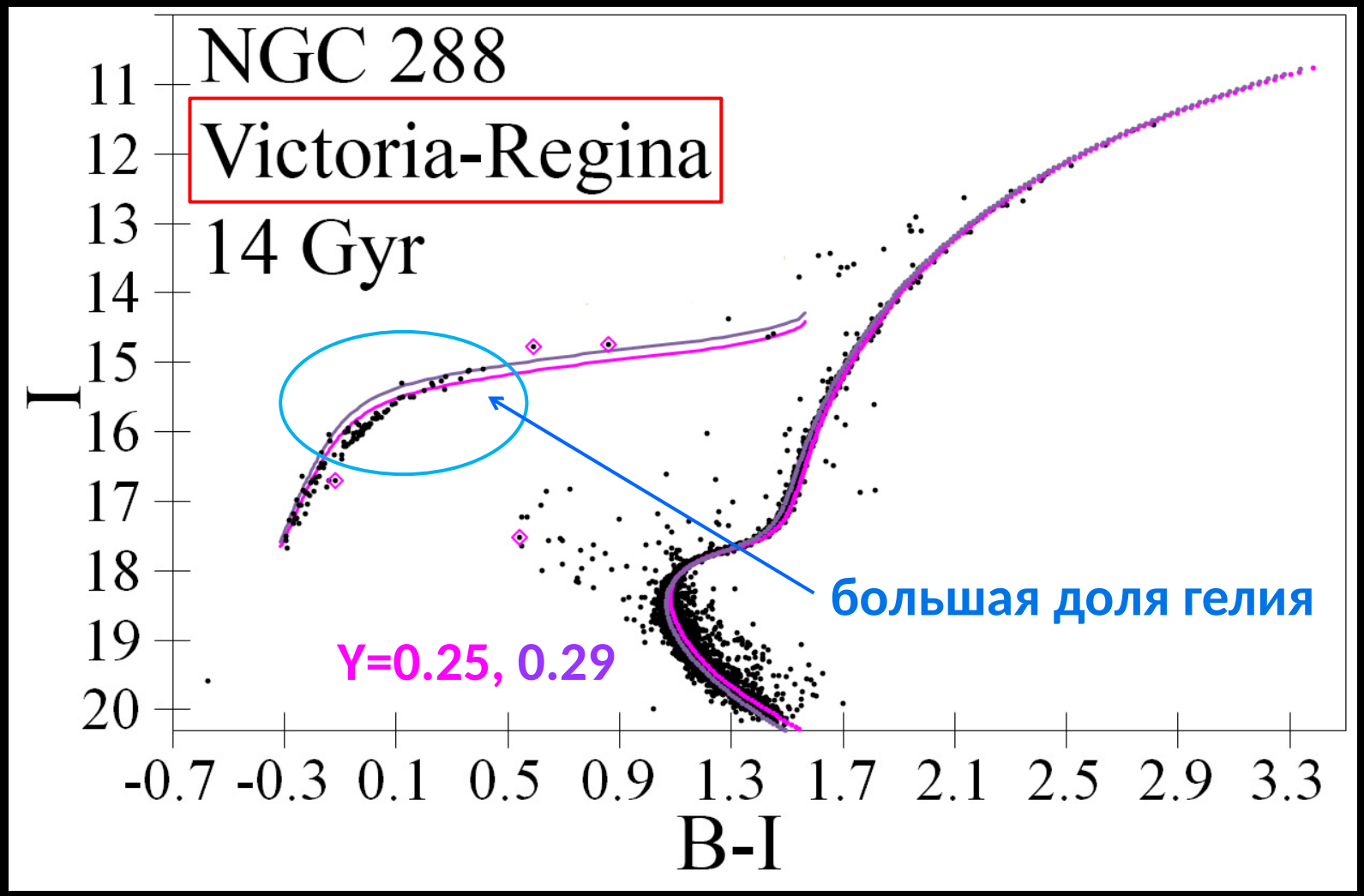
Лучшее решение для возраста 12.5 Gyr



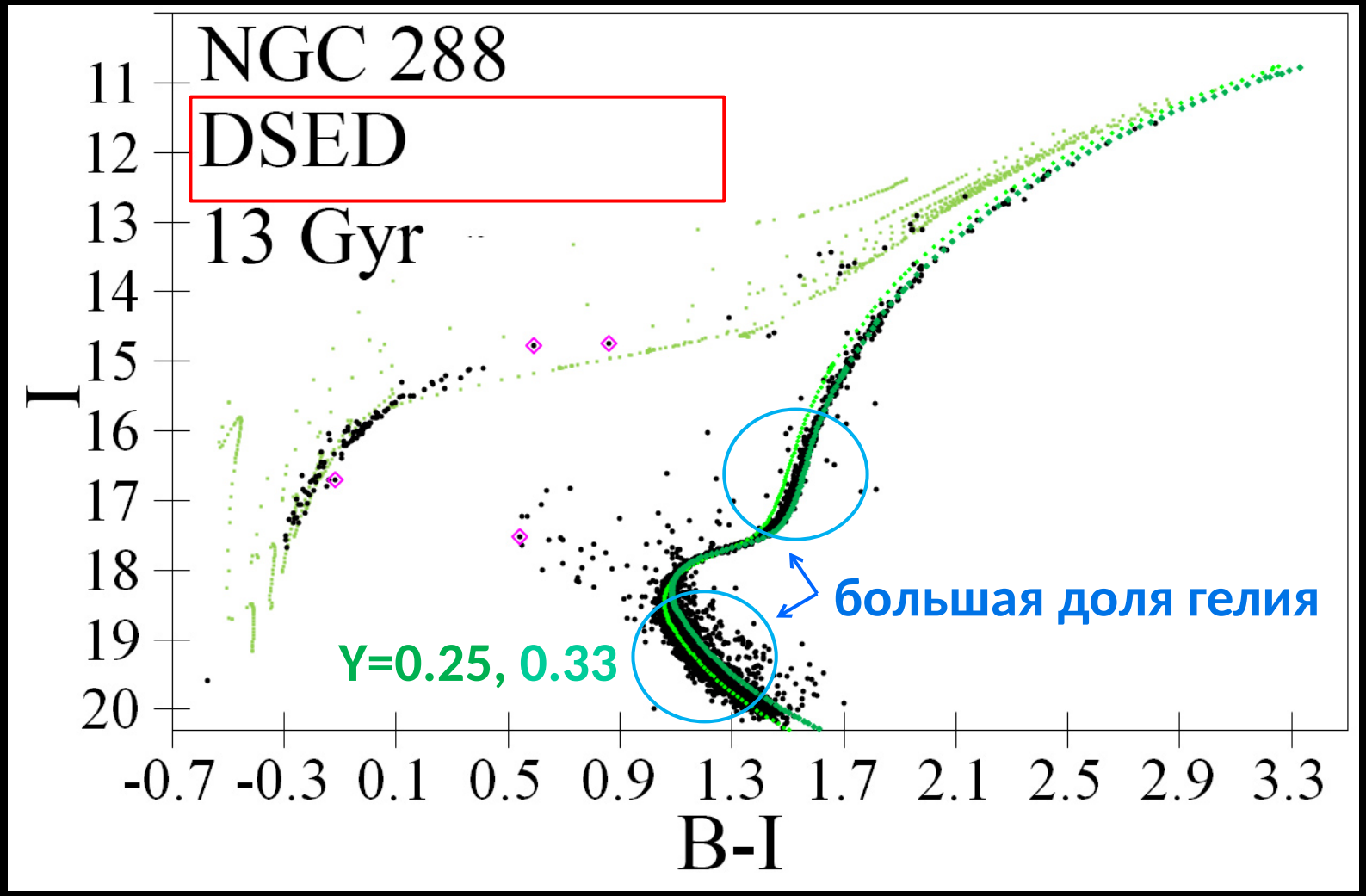
Лучшие решения



Лучшие решения



Лучшие решения



Для каждого скопления использованы, как минимум, три набора данных (HST, Gaia и Stetson+2024) с фотометрией в 13 фильтрах. Всего проанализировано >1000 независимых диаграмм "цвет-звёздная величина", из них >500 для фильтров в оптическом диапазоне.
По каждой диаграмме получена независимая оценка возраста.
Поэтому итоговая статистическая неопределённость измеренного возраста всегда лучше 200 миллионов лет и, таким образом, пренебрежимо мала по сравнению с систематической неопределённостью из-за использования той или иной модели.

Некоторые старые галактические шаровые скопления из 41 скопления, рассмотренного нами (>21%).

<<< Возраст (млрд. лет) >>>

| | Доля гелия | BaSTI | PGPUC | VR | Среднее и полуразность |
|---|---|---|---|---|---|
| NGC288 | Y>0.28 | 13.5 | 14 | 14.5 | 14.0 ±0.5 |
| NGC5024 | Y~0.26 | 13 | 13.5 | 14 | 13.5 ±0.5 |
| NGC6205 | Y~0.28 | 13.5 | 14 | 14.5 | 14.0 ±0.5 |
| NGC6218 | Y~0.27 | 14 | 14 | 15 | 14.33 ±0.5 |
| NGC6254 | Y>0.28 | 13.5 | 14 | 14.5 | 14.0 ±0.5 |
| NGC6341 | Y=0.25 | 13.5 | 14.5 | 14.5 | 14.17 ±0.5 |
| NGC6541 | Y~0.26 | 13.5 | 14.5 | 14.5 | 14.17 ±0.5 |
| NGC6752 | Y~0.26 | 14 | 14.5 | 15 | 14.5 ±0.5 |
| NGC7099 | Y~0.26 | 13 | 14 | 14 | 13.67 ±0.5 |

Итак: Возраст >13 Gyr (или даже 13.5 ?) значит обычное звездообразование и солнечное содержание гелия всего лишь через 500 (или даже 100 ?) миллионов лет после Большого Взрыва!

**Вывод:**

Сопоставление недавних астрометрических и фотометрических наблюдений HST, Gaia, Pan-STARRS, SDSS, SMSS, VISTA, WISE и других с теоретическими моделями внутреннего строения и эволюции звёзд DSED, BaSTI, PGPUC и Victoria-Regina даёт возраст некоторых шаровых скоплений нашей Галактики >13 (или даже 13.5 ?) миллиардов лет при высоком обогащении гелием и альфа-элементами.

Наши статьи о шаровых скоплениях:


1. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2019, 483, 4949-4967
2. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2020, 497, 3674-3693
3. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2021, 508, 2688-2705
4. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2023, 518, 3036-3054
5. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2023, 526, 5628-5647
6. Gontcharov et al., Research in Astronomy and Astrophysics, 2024, 24, 065014




Выполнено при поддержке гранта РНФ 20-72-10052.

Большой Взрыв не является рождением времени и пространства?
Есть ли способ передать материю и объекты типа шаровых скоплений сквозь Большой взрыв?

Например:
Большой Взрыв - рождение чёрной дыры, которая в дальнейшем  поглощая окружающие объекты, к нашему времени приобрела массу ~$10^{23}$ масс Солнца (гипермассивная) и, соответственно, радиус ~14 миллиардов световых лет, то есть является видимой частью Вселенной, обособленной от остальной Вселенной.
Внутри такой дыры, вдали от её центра плотность материи, температура, приливные силы и другие характеристики привычны для нас.

**Выводы:**

1. Сопоставление недавних наблюдений HST, Gaia и других с теоретическими моделями внутреннего строения и эволюции звёзд DSED, BaSTI, PGPUC и Victoria-Regina даёт возраст некоторых шаровых скоплений нашей Галактики >13 миллиардов лет при высоком обогащении гелием и альфа-элементами.
2. Возможно, химия и физика Вселенной как в наше время, так и сразу после Большого взрыва определяется не только самим Большим взрывом, но и событиями до него. Одна из гипотез передачи объектов из пространства и времени до Большого взрыва в наше пространство и время: Большой взрыв есть рождение гипермассивной чёрной дыры (современной массой ~$10^{23}$ масс Солнца и радиусом Шварцшильда ~14 миллиардов световых лет), которую мы воспринимаем как видимую часть Вселенной и внутрь которой уже после её рождения попали многие объекты, включая галактики и шаровые скопления.

Наши статьи о шаровых скоплениях:

1. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2019, 483, 4949-4967
2. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2020, 497, 3674-3693
3. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2021, 508, 2688-2705
4. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2023, 518, 3036-3054
5. Gontcharov et al., Monthly Notices of Royal Astronomical Society, 2023, 526, 5628-5647
6. Gontcharov et al., Research in Astronomy and Astrophysics, 2024, 24, 065014

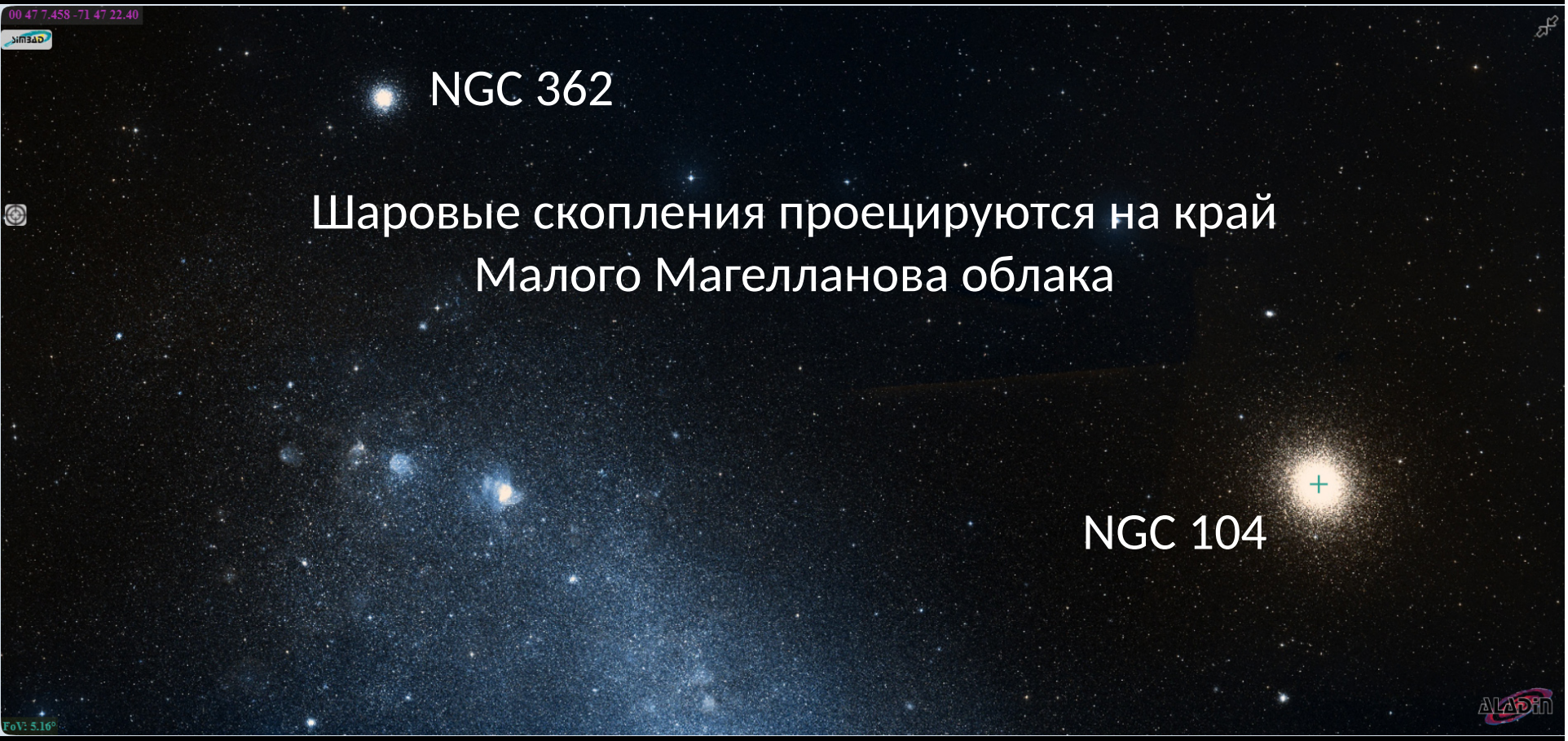
Выполнено при поддержке гранта РНФ 20-72-10052.

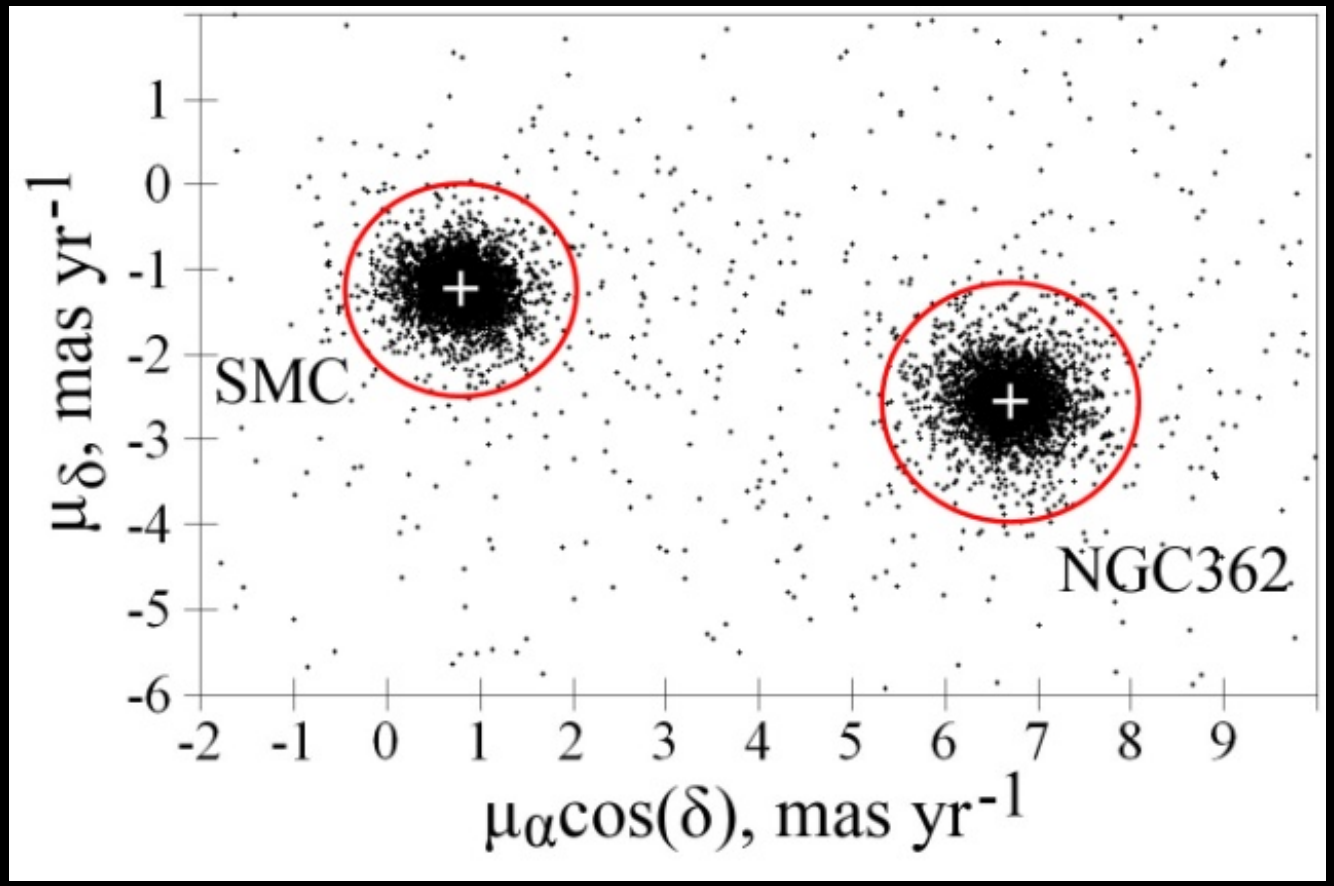
Спасибо за внимание!

georgegontcharov@yahoo.com

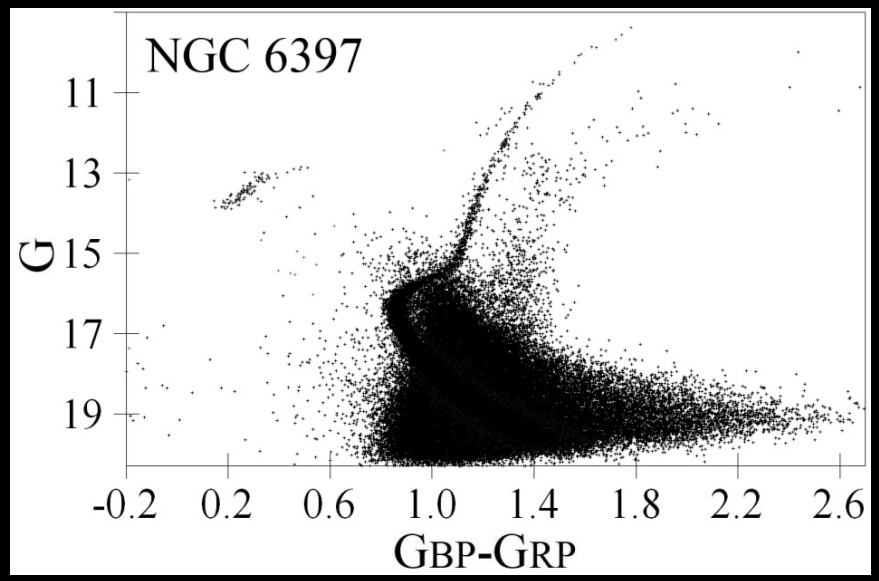
Старая история -
возраст шаровых скоплений против возраста Вселенной.

Клиффорд Саймак
"Заповедник гоблинов"
1968 год

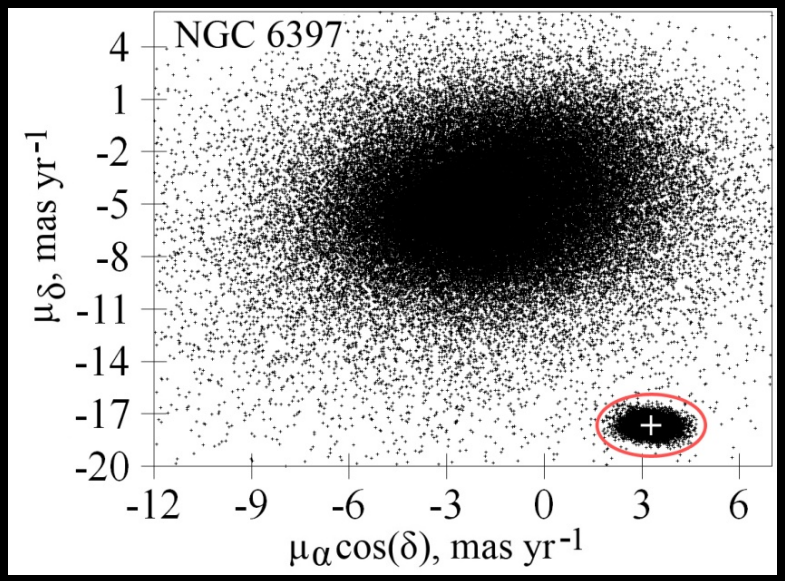

00 47 7.458 -71 47 22.40
NGC 362
Шаровые скопления проецируются на край
Малого Магелланова облака
NGC 104
FoV: 5.16°



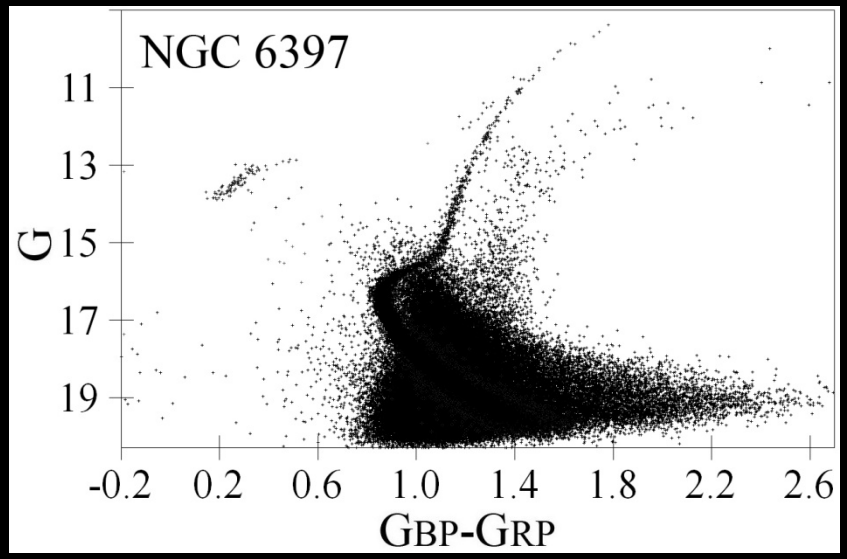

Использование собственных движений звёзд из Gaia Data Release 3 (DR3) вблизи NGC362 для их уверенного разделения на собственно звёзды NGC362 и звёзды Малого Магелланова облака (SMC).




Исходная диаграмма "цвет-величина" для NGC 6397 по фотометрии Gaia, загрязнённая звёздами карликовой галактики в Стрельце




Отбор членов NGC 6397 по собственным движениям Gaia DR3 - **в красном овале**. Большинство звёзд в поле NGC6397 принадлежит галактике в Стрельце.




Исходная диаграмма "цвет-величина" для NGC 6397 по фотометрии Gaia, загрязнённая звёздами карликовой галактики в Стрельце

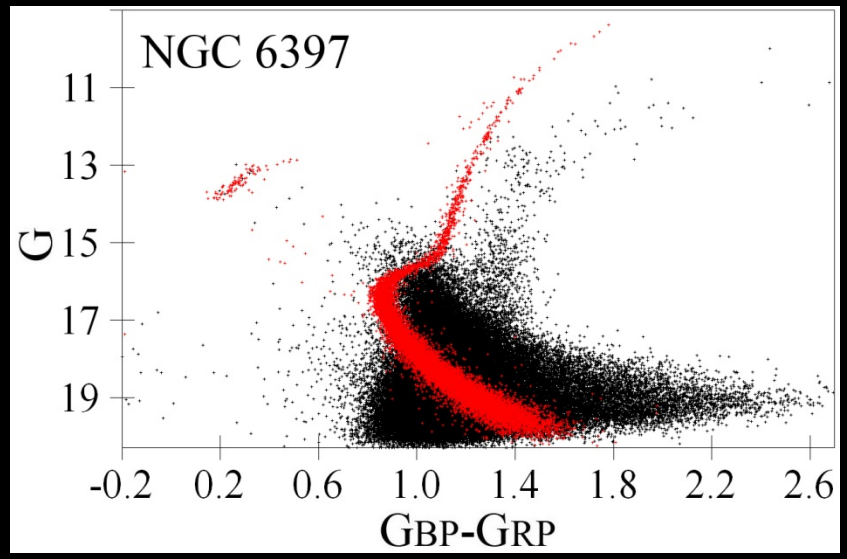
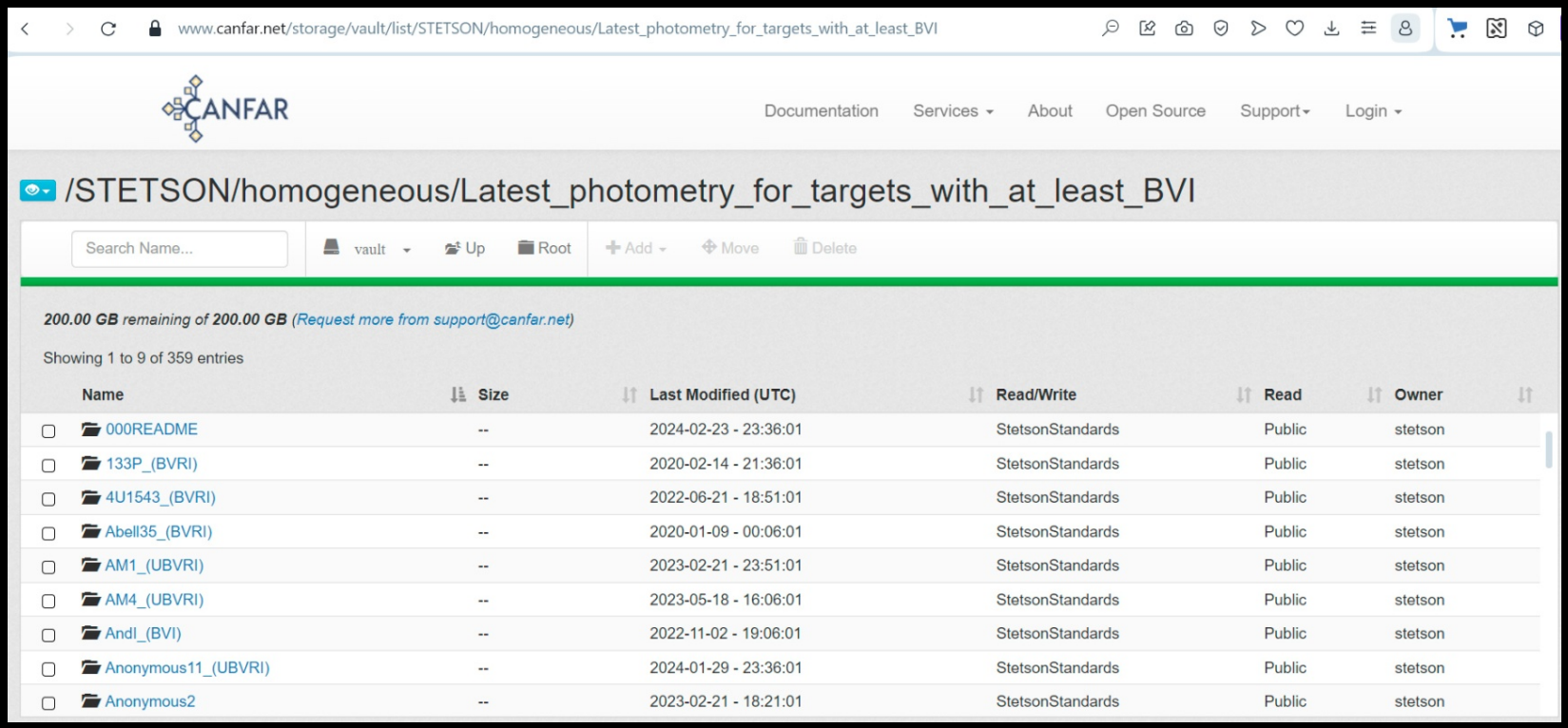
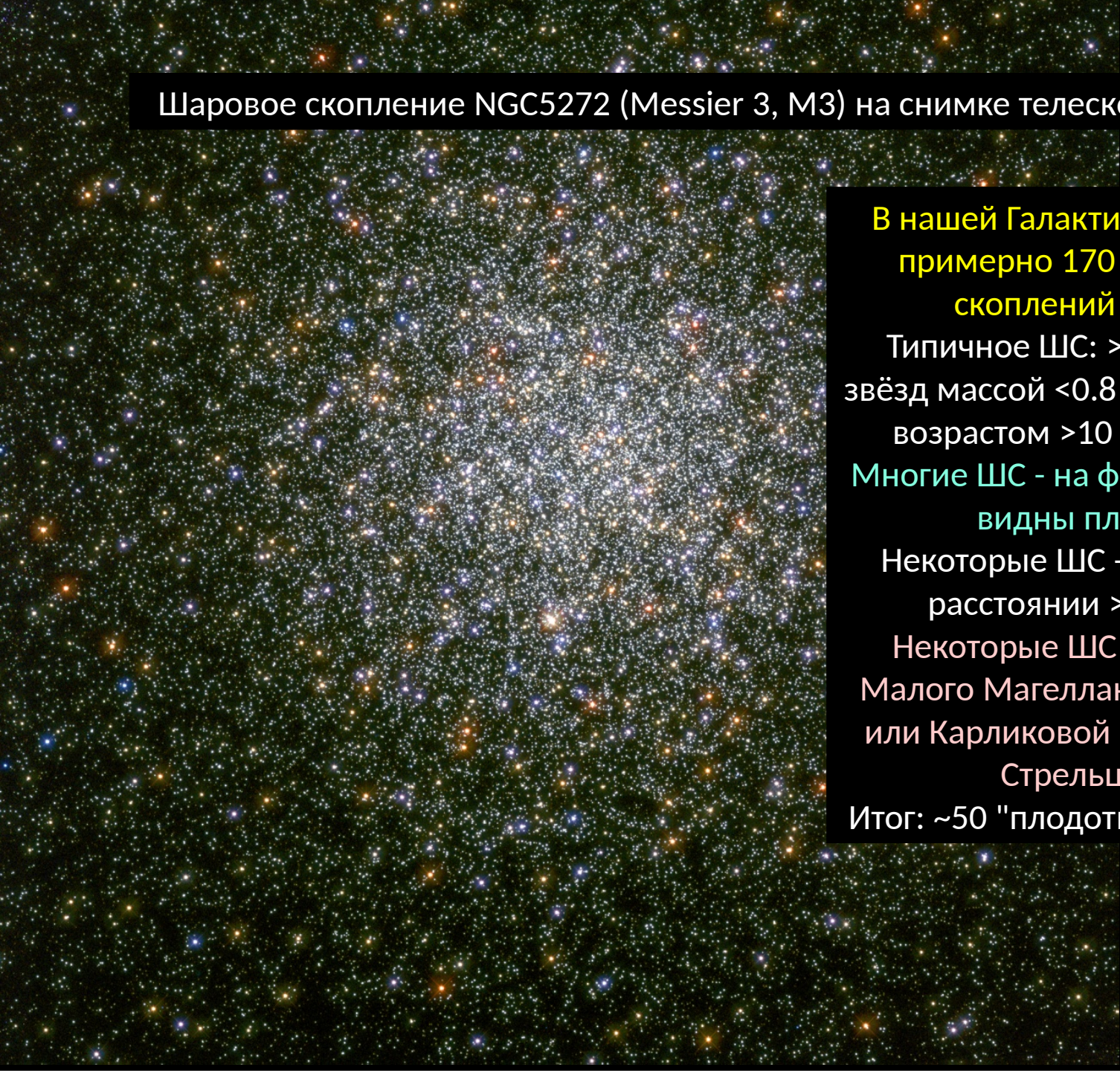



Диаграмма "цвет-величина" по фотометрии Gaia: NGC 6397 - **красные точки**, галактика в Стрельце - чёрные точки.

Переобработка ВСЕЙ наземной ПЗС-фотометрии звёзд скоплений с 1985 года:
Stetson et al., 2019, MNRAS, 485, 3042
+ переобработка продолжается 2019-2024:
(https://www.canfar.net/storage/vault/list/STETSON/homogeneous/Latest_photometry_for_targets_with_at_least_BVI)




| Name | Size | Last Modified (UTC) | Read/Write | Read | Owner |
|---|---|---|---|---|---|
| 000README | -- | 2024-02-23 - 23:36:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| 133P_(BVRI) | -- | 2020-02-14 - 21:36:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| 4U1543_(BVRI) | -- | 2022-06-21 - 18:51:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| Abell35_(BVRI) | -- | 2020-01-09 - 00:06:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| AM1_(UBVRI) | -- | 2023-02-21 - 23:51:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| AM4_(UBVRI) | -- | 2023-05-18 - 16:06:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| And I_(BVI) | -- | 2022-11-02 - 19:06:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| Anonymous11_(UBVRI) | -- | 2024-01-29 - 23:36:01 | StetsonStandards | Public | stetson |
| Anonymous2 | -- | 2023-02-21 - 18:21:01 | StetsonStandards | Public | stetson |



Шаровое скопление NGC5272 (Messier 3, M3) на снимке телескопа Hubble.

В нашей Галактике открыто примерно 170 шаровых скоплений (ШС).

Типичное ШС: >100 тысяч звёзд массой <0.8 масс Солнца возрастом >10 млрд лет.

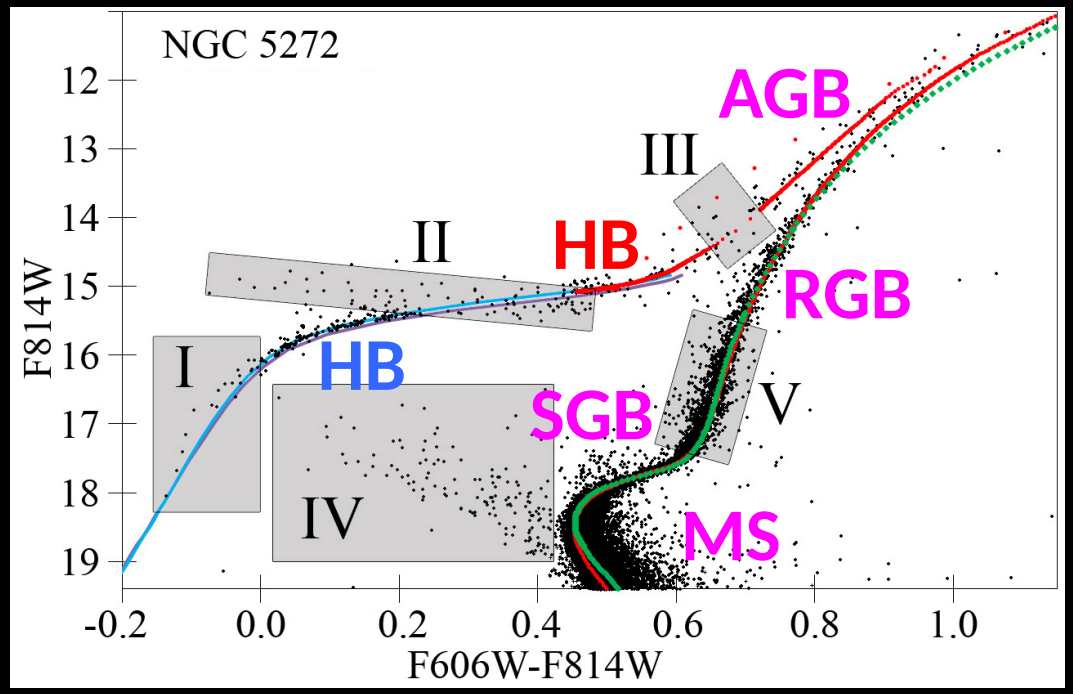
Многие ШС - на фоне балджа, видны плохо.

Некоторые ШС - в гало, на расстоянии >30 кпк.

Некоторые ШС - на фоне Малого Магелланова облака или Карликовой галактики в Стрельце.

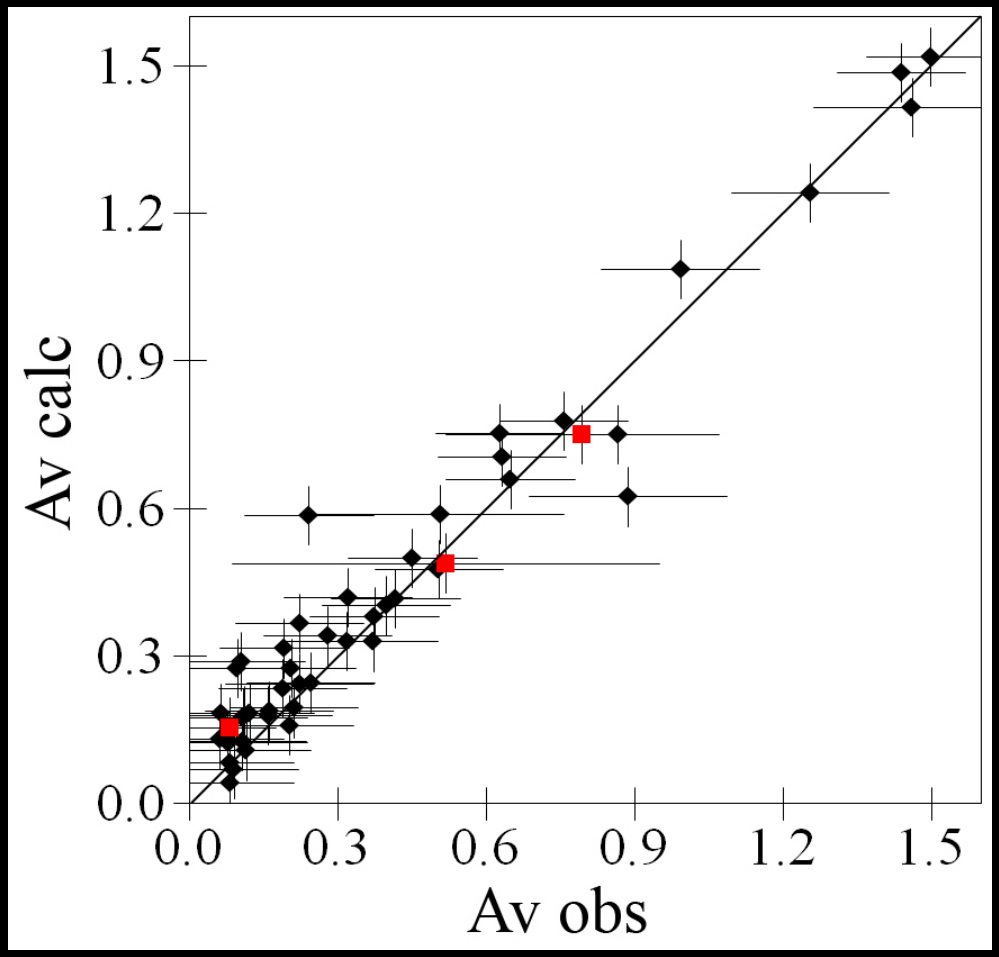
Итог: ~50 "плодотворных" ШС.

Диаграмма "цвет-величина" для фотометрии Hubble в фильтрах F606W и F814W: выделены области с
I экстремально голубыми HB,
II переменными RR Lyrae,
III другими переменными,
IV голубыми бродягами,
не используемыми в фиттинге, и
V тусклыми гигантами RGB с высокой долей гелия Y>0.25.



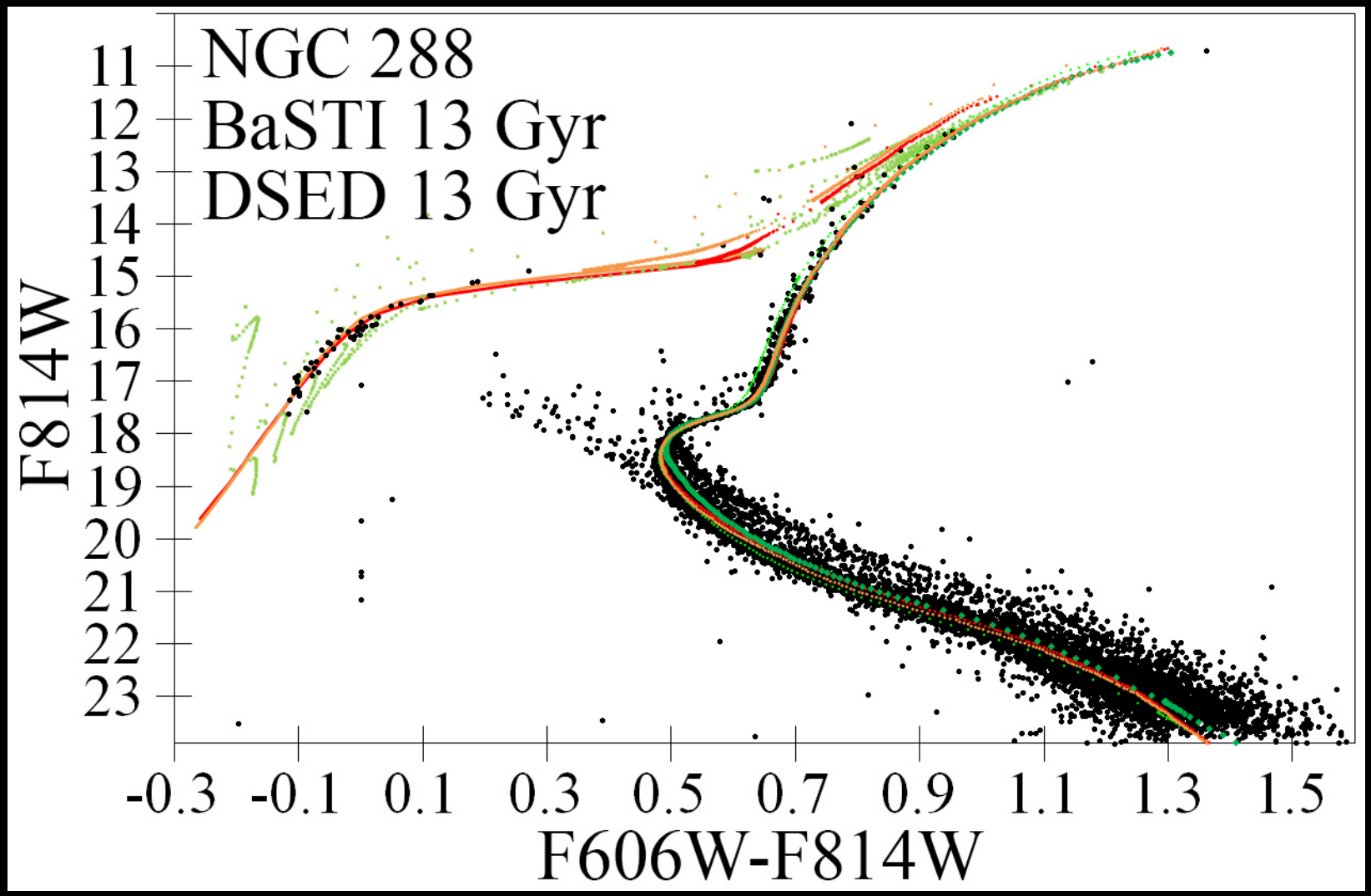

- изохрона BaSTI для Y=0.25
- изохрона DSED для Y=0.25
- BaSTI ZAHB для Y=0.25
- BaSTI ZAHB для Y=0.275

Dotter et al., **2008**, ApJS, 178, 89 - Dartmouth Stellar Evolution Database (**DSED**)
Pietrinferni et al., **2021**, ApJ, 908, 102 - Bag of Stellar Tracks and Isochrones (**BaSTI**)

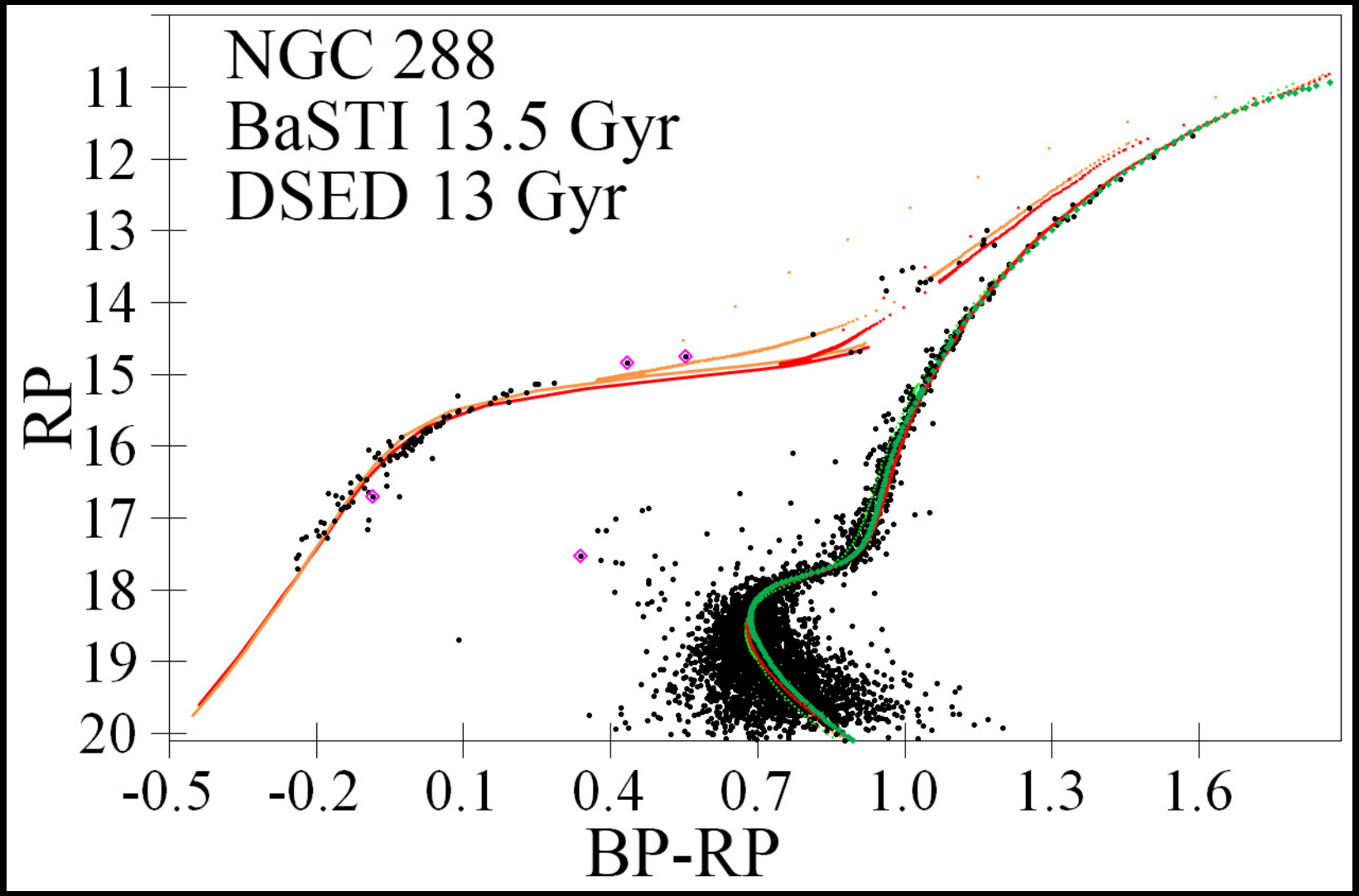



Оценки Av_obs из литературы (неоднородные оценки) для 50 галактических шаровых скоплений с |b|>13° в сопоставлении с предсказаниями Av_calc по нашей двумерной карте - черные символы (оценки Clementini+2022 для переменных RR Лиры внутри NGC288, NGC5139 и IC4499 - красные квадраты). Подтверждена точность наших карт σ(Av)=0.06.

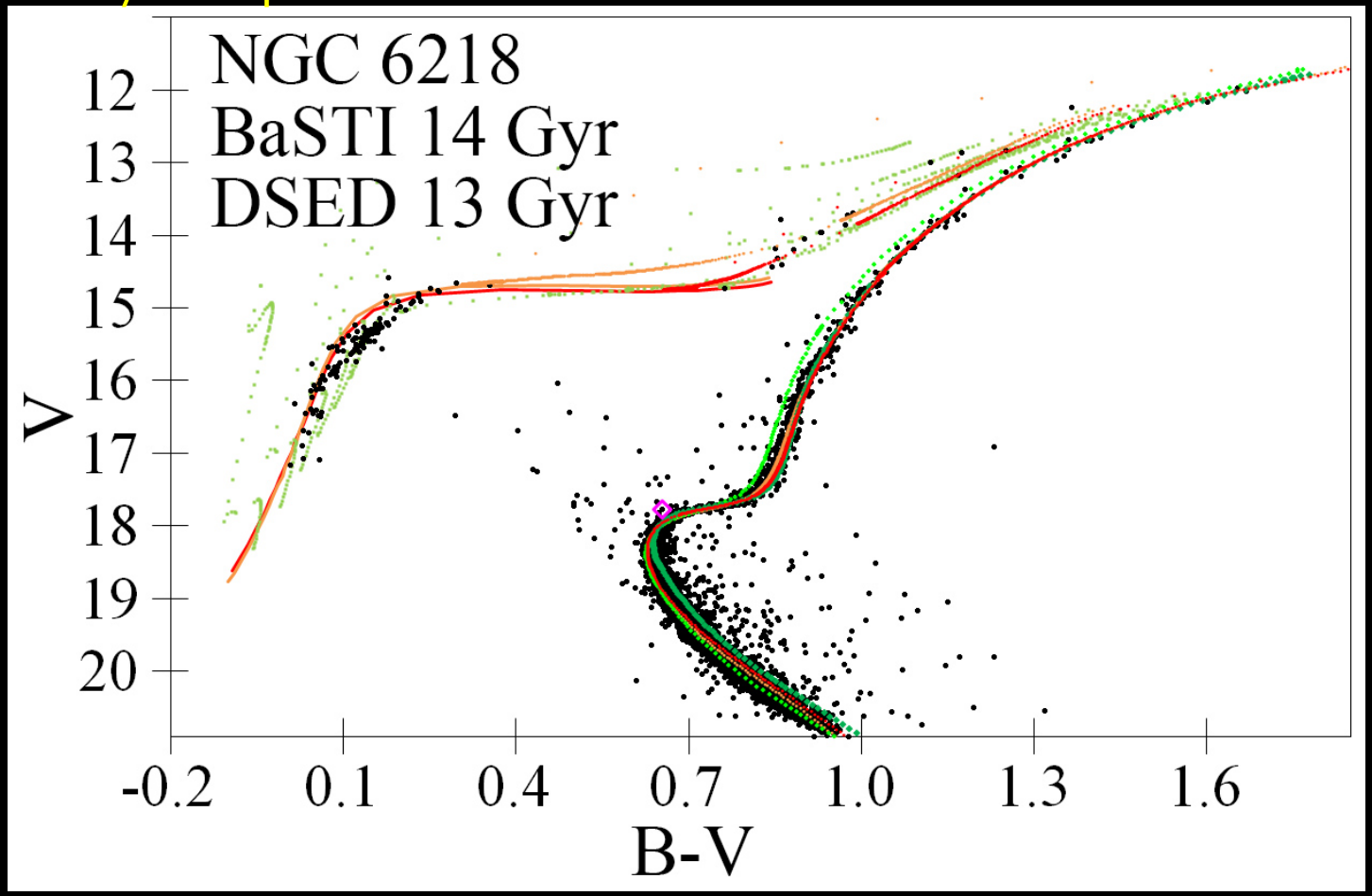
Hubble Space Telescope, прибор WFC/ACS, фильтры на 606 и 814 нм



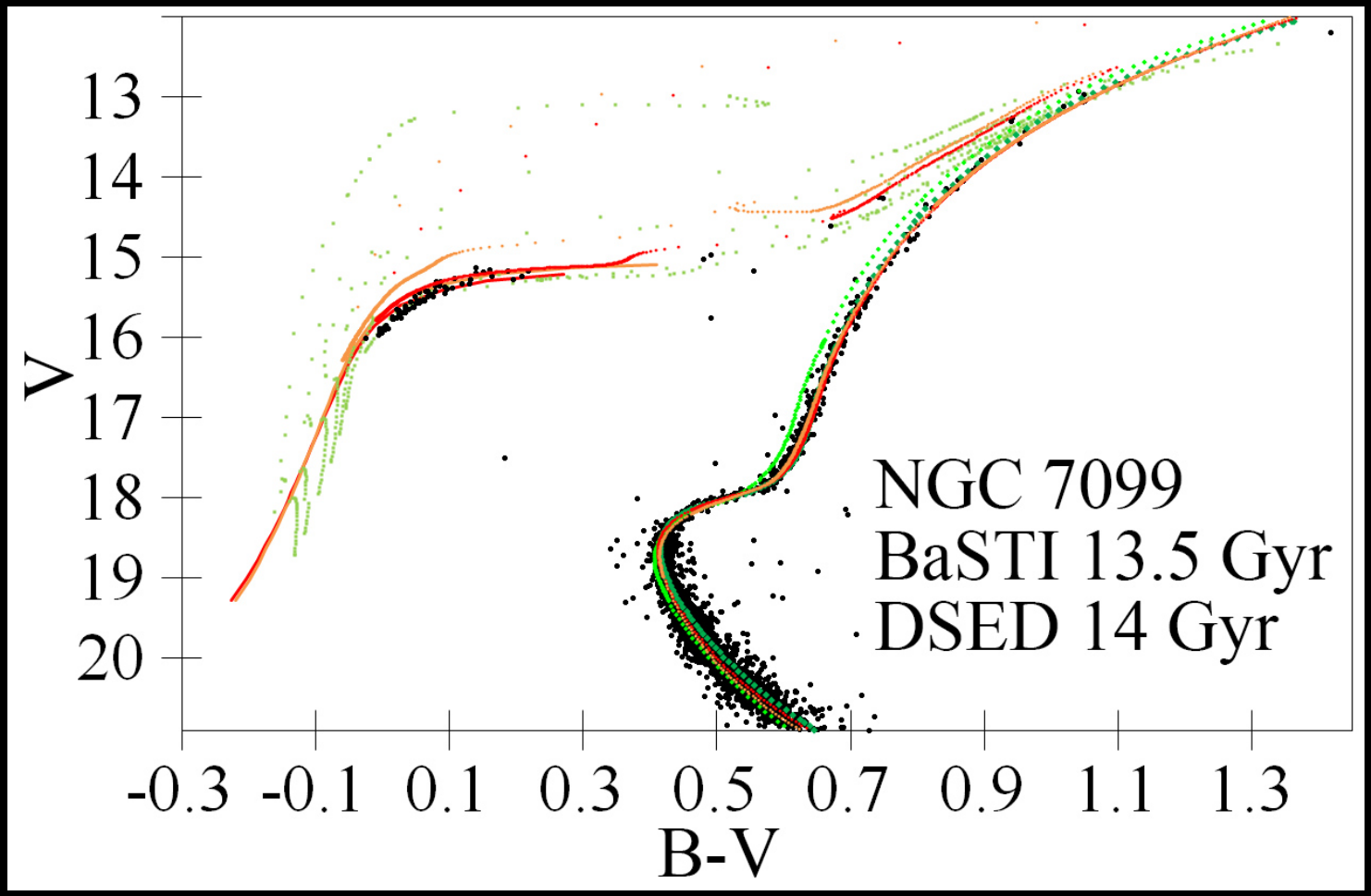
Gaia DR3, фильтры BP и RP



NGC 6218, l=16°, b=+26°, расстояние от Солнца R≈5.1 кпк,
отбор членов с помощью параллаксов и собственных движений Gaia DR3,
фотометрия Stetson+2024 с [Fe/H]≈-1.2, [α/Fe]=+0.4, E(B-V)≈0.2 даёт
лучшее решение:



NGC 7099, l=27°, b=-47°, расстояние от Солнца R≈8.6 кпк,
отбор членов с помощью параллаксов и собственных движений Gaia DR3,
фотометрия Stetson+2024 с [Fe/H]≈-2.1, [α/Fe]=+0.4, E(B-V)≈0.03 даёт
лучшее решение:

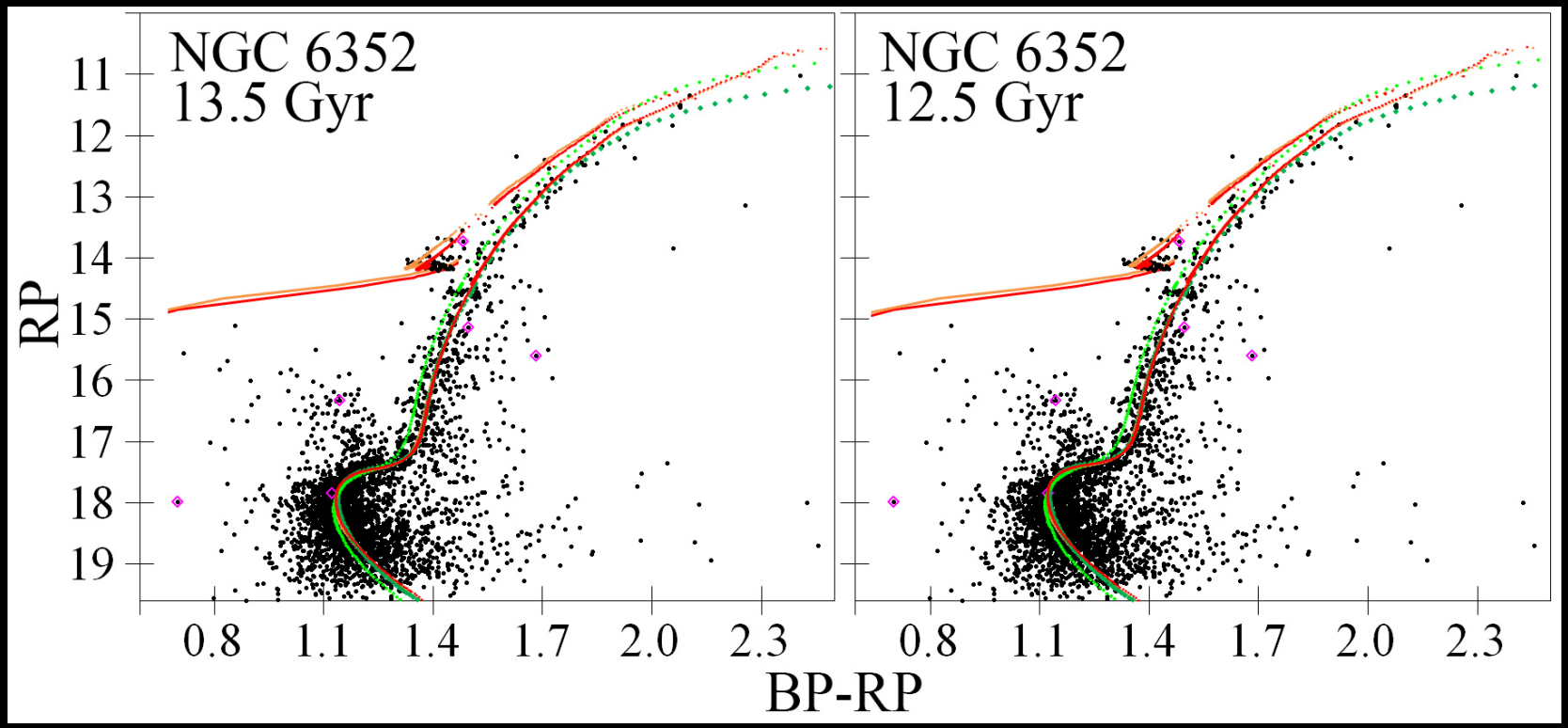


NGC 6352, l=341°, b=-7°, расстояние от Солнца R≈5.5 кпк

Gaia DR3 BP-RP

BaSTI [Fe/H]=-0.6

DSED [Fe/H]=-0.8



Некоторые старые галактические шаровые скопления из 41 скопления, рассмотренного нами (>21%).

<<< Возраст (млрд. лет) >>>

| | Доля гелия | DSED | BaSTI | PGPUC | VR | Среднее |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NGC288 | Y>0.28 | 13 | 13.5 | 14 | 14.5 | 13.75 ±0.75 |
| NGC5024 | Y~0.26 | 13 | 13 | 13.5 | 14 | 13.38 ±0.50 |
| NGC6205 | Y~0.26 | 13 | 13.5 | 14 | 14.5 | 13.75 ±0.75 |
| NGC6218 | Y~0.27 | 13 | 14 | 14 | 15 | 14.00 ±1.00 |
| NGC6254 | Y>0.28 | 13 | 13.5 | 14 | 14.5 | 13.75 ±0.75 |
| NGC6341 | Y=0.25 | 13.5 | 13.5 | 14.5 | 15 | 14.13 ±0.75 |
| NGC6541 | Y~0.26 | 13.5 | 13.5 | 14.5 | 14.5 | 14.00 ±0.50 |
| NGC6752 | Y~0.26 | 13 | 14 | 14.5 | 15 | 14.13 ±1.00 |
| NGC7099 | Y~0.26 | 13.5 | 13 | 14 | 14.5 | 13.75 ±0.75 |

Итак: обычное звездообразование и солнечное содержание гелия всего лишь через 500 миллионов лет после Большого Взрыва!