

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(САО РАН)



**Научная-квалификационная работа
«Исследование спектров суммарного излучения
звездных скоплений нашей и других галактик»**

Аспирантка Маричева М.И.

**Научный руководитель к.ф.-м.н. Шарина М.Е.
Лаборатория внегалактической астрофизики и
космологии**

Направление 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия

Нижний Архыз 2024

Исследование спектров суммарного излучения звездных скоплений нашей и других галактик

Целью исследования является детальное изучение свойств звездных населений шаровых скоплений нашей и других галактиках с использованием спектров их суммарного излучения.

Задачи:

- 1) Определение возраста, удельного содержания гелия (Y) и химического состава (далее: **параметры**) для шаровых скоплений с использованием методики из Шарина и др. 2020 и сравнение с таковыми у шаровых скоплений и звезд поля Галактики из литературы;
- 2) Сравнение подобранных по спектрам суммарного излучения изохрон с наблюдаемыми CMD скоплений;
- 3) Измерение абсорбционных Ликских индексов в спектрах суммарного излучения Галактических шаровых скоплений низкой поверхностной яркости для определения их возраста, металличности и содержания $[\alpha/Fe]$.

Актуальность

- Анализ спектров суммарного излучения шаровых скоплений является одним из наиболее эффективных инструментов определения их возраста, Y и химического состава, а также изучения эволюции родительских галактик. Такой анализ способствует решению актуальных проблем, таких как: разделение эффектов возраста и металличности на интегральные характеристики скоплений, определение их абсолютных возрастов.
- Изменения в содержаниях элементов, происходящие в процессе эволюции звезд скоплений, накладываются на аномалии первичных содержаний, существовавших на момент формирования скоплений. Важно поэтому исследовать спектры именно суммарного излучения скоплений для того, чтобы оценить, как особенности химического состава влияют на свойства суммарного излучения объектов.
- В работе исследуется влияние звезд горизонтальной ветви (НВ) на профили бальмеровских линий в спектрах скоплений. Это способствует совершенствованию моделей звездной эволюции и изучению факторов, влияющих на морфологию и свойства звезд НВ, таких как: масштабы вариаций Y и содержаний легких элементов в скоплениях.

Структура работы

Введение

Глава 1. Методы анализа спектров суммарного излучения шаровых скоплений

Глава 2. Анализ спектров очень бедных металлами шаровых скоплений M31

Глава 3. Исследование спектров четырех шаровых скоплений M31 в проекционной близости к NGC205

Глава 4. Свойства звездных населений восьми Галактических шаровых скоплений низкой поверхностной яркости

Заключение

Литература

Глава 1. Методы анализа спектров суммарного излучения шаровых скоплений

Метод определения возраста, удельного содержания гелия и химического состава шаровых скоплений

Метод разработан и подробно описан в работе **Sharina et al. (2020)**. Расчет синтетических спектров $I(\lambda)$ выполняется с помощью программы CLUSTER. Для моделирования необходимы химсостав и теоретические изохроны звездной эволюции, задающие параметры атмосфер звезд: T_{eff} и $\log(g)$.

Синтетические спектры отдельных звезд ($S(\lambda, m)$) с начальной массой (m), задаваемой изохроной звездной эволюции, рассчитывались в приближении локального термодинамического равновесия (ЛТР) на основе плоскопараллельных гидростатических моделей атмосфер **Castelli & Kurucz (2003)**, относительно солнечных содержаний **Grevesse & Sauval (1998)**. Синтетические спектры отдельных звезд складываются согласно заданной функции масс ($\phi(m)$):

$$I(\lambda) = \int_{m_1}^{m_2} S(\lambda, m) \phi(m) dm$$

В данной работе используются функция масс **Chabrier (2005)** и изохроны **Bertelli et al. (2008)**, **Pietrinferni et al. (2004)** (далее: **B08, BASTI**).

Массовые доли водорода X , гелия Y , и металлов Z для Солнца даны в статье **Asplund et al. (2009)**. $X+Y+Z=1$. Содержание железа в солнечных единицах $[\text{Fe}/\text{H}] = \lg(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}) - \lg(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\odot}$ (где $N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}$ – отношение концентраций железа и водорода по числу атомов, или по массе).

Глава 1. Методы анализа спектров суммарного излучения шаровых скоплений

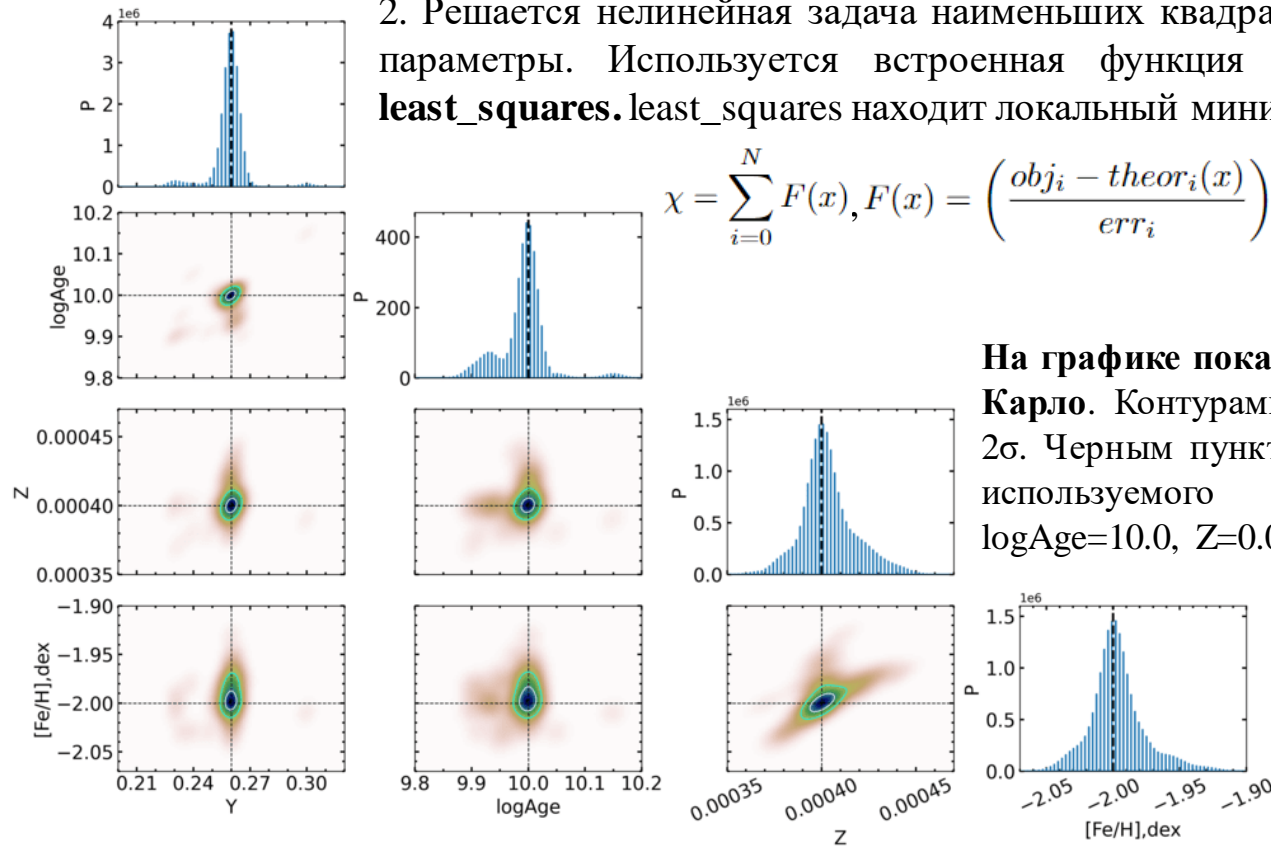
Описание программы подбора теоретической изхроны для оптимального описания наблюдаемого спектра суммарного излучения

Первоначально рассчитывалась сетка модельных синтетических спектров на основе изохрон Bertelli et al. (2008) которая сглаживалась до разрешения наблюдаемых спектров $FWHM=5.5\text{\AA}$.

Этапы:

1. Поиск минимума χ из сеточных значений.
2. Решается нелинейная задача наименьших квадратов с заданными ограничениями на параметры. Используется встроенная функция библиотеки `scipy`: `scipy.optimize.least_squares`. `least_squares` находит локальный минимум функции $F(x)$:

$$\chi = \sum_{i=0}^N F(x), F(x) = \left(\frac{obj_i - theor_i(x)}{err_i} \right)^2, \quad i - \text{элемент спектра, } x - \text{искомые параметры}$$



На графике показаны результаты симуляций Монте-Карло. Контурами на графиках выделены области 1σ , 2σ . Черным пунктиром отмечены параметры изохроны используемого синтетического спектра ($Y=0.26$, $\logAge=10.0$, $Z=0.0004$, $[Fe/H]=-2.0$ dex).

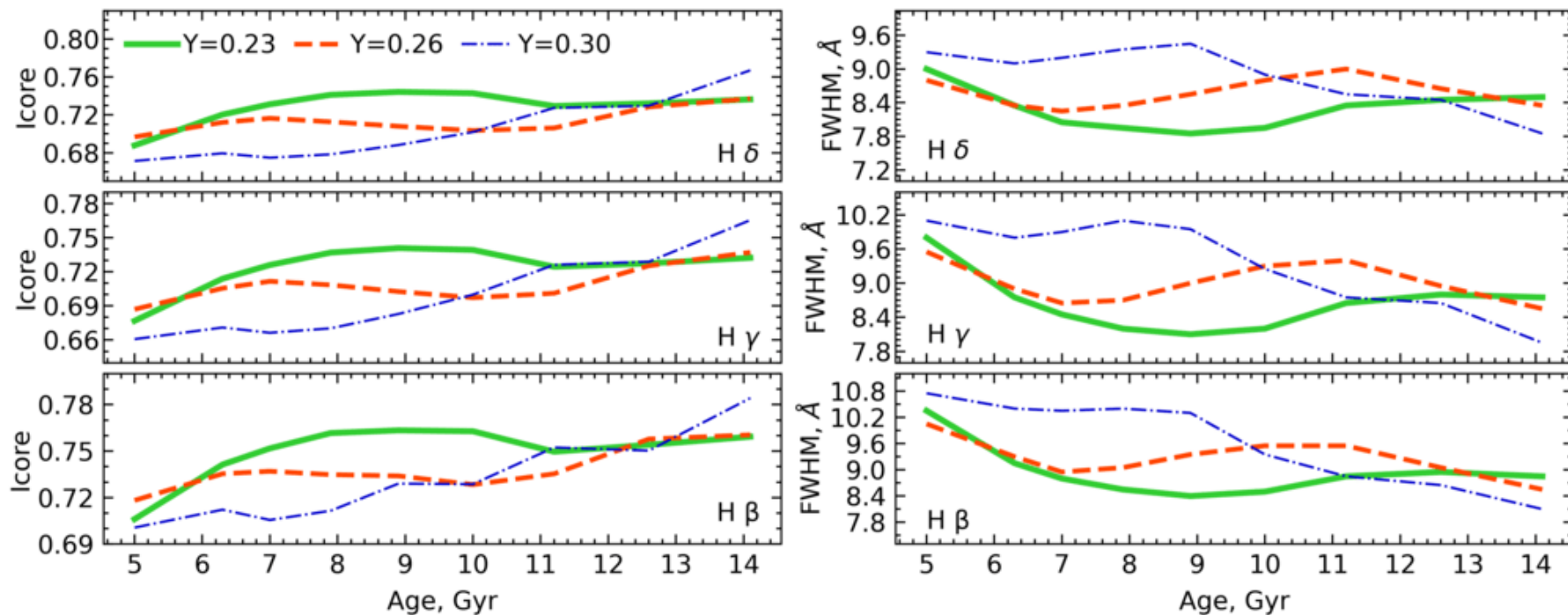
Дисперсия параметров следующая:

$$\sigma_Y=0.0075, \quad \sigma_{\logAge}=0.032, \\ \sigma_Z = 1.032 \cdot 10^{-5}, \quad \sigma_{[Fe/H]} = 0.018$$

Глава 1. Методы анализа спектров суммарного излучения шаровых скоплений

О влиянии звезд горизонтальной ветви на интенсивность бальмеровских линий в спектрах суммарного излучения

Изменение I_{core} (глубина) и FWHM линий H δ , H γ , H β в синтетических суммарных спектрах скоплений с учета звезд горизонтальной ветви:

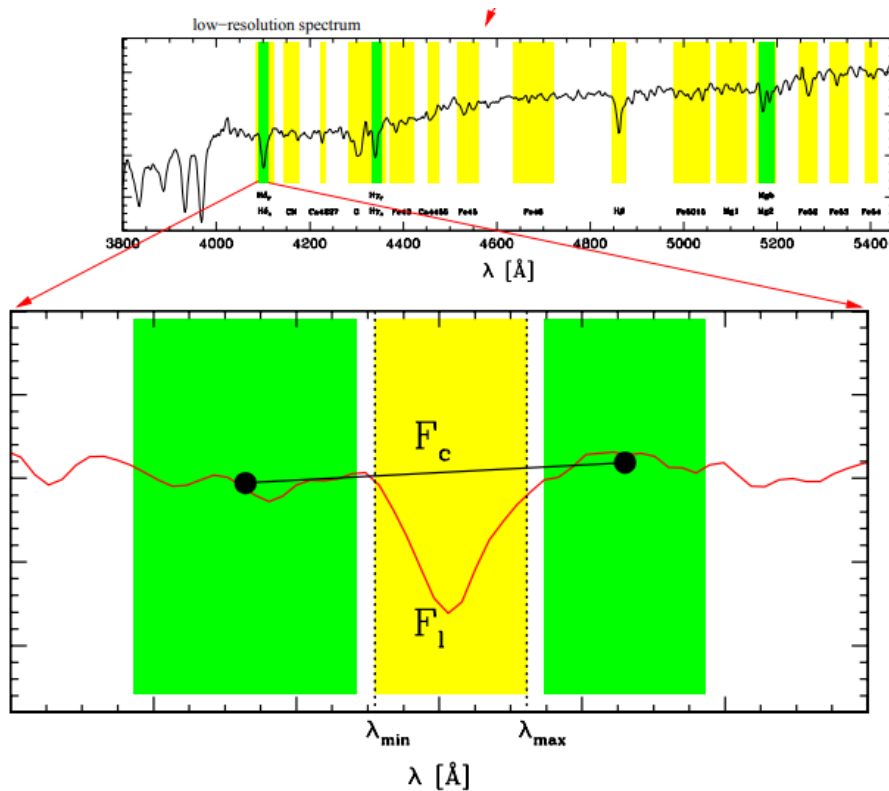


B08: $Z=0.0004$

Разрешение спектров (FWHM) = 5.5 Å

Глава 1. Методы анализа спектров суммарного излучения шаровых скоплений

Ликская система абсорбционных индексов



Индекс:

$$EW = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(1 - \frac{F_{l\lambda}}{F_{c\lambda}} \right) d\lambda ,$$

Молекулярный индекс:

$$Mag = -2.5 \cdot \log \left[\left(\frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \right) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{F_{l\lambda}}{F_{c\lambda}} d\lambda \right],$$

F_c -поток в континууме; F_l – поток в линии

На рисунке показан способ измерения Ликских индексов. Полоса пропускания индекса с границами λ_{\min} и λ_{\max} окружена двумя соседними полосами пропускания континуума. (Puzia et al. 2004)

Система Ликских индексов описана в работах: Burstein et al., (1984), Worthey et al. (1994), Worthey & Ottaviani, (1997), Worthey (1994).

Глава 2. Анализ спектров очень бедных металлами шаровых скоплений M31

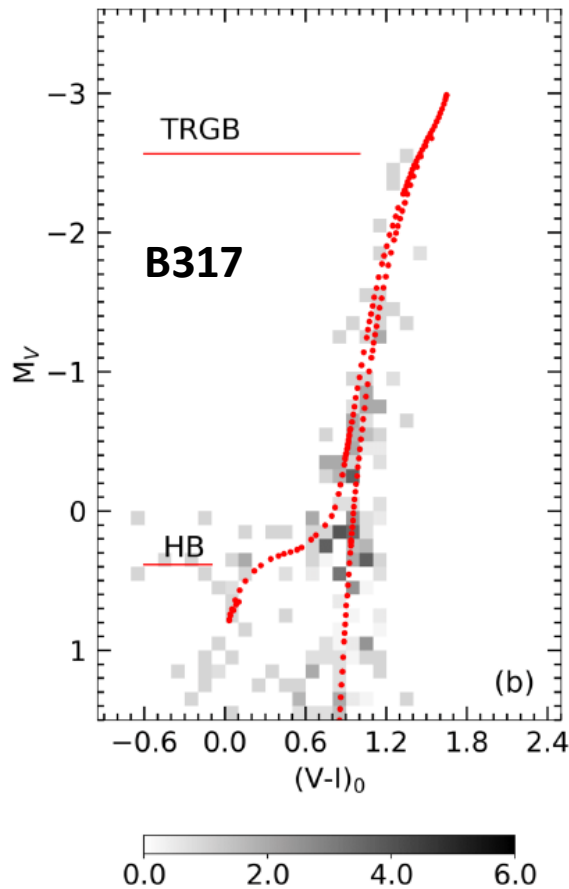
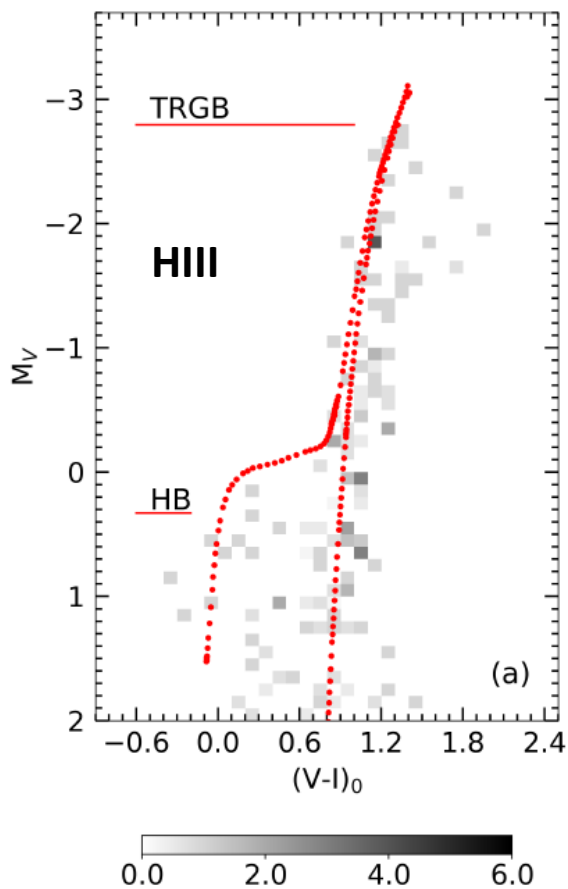
Спектры объектов были получены на 6-ти метровом телескопе **БТА САО РАН** в 2020-2023 годах. Наблюдения проводились со **SCORPIO-1** (Afanasiev et al. (2005)) в режиме спектроскопии с длинной щелью. Гризма **VRHG1200B**, спектральный диапазон **3600- 5400 Å**, разрешение $\sim 5.5 \text{ Å}$. Для **B2** и **B165** использовались архивные данные спектрографа Hectospec (**Fabricant et al.(2005)**).

| Объект | Галактика | RA(2000); DEC(2000) hh:mm:ss gr:mm:ss | [Fe/H] dex | Age Gyr | Y |
|--------|-----------|--|---------------|------------|-------------|
| B317 | N205 | 00:39:55.28; +41:47:46.10 | -2.02±0.16 | 12.6±0.15 | 0.26±0.0024 |
| B165 | M31 | 00:43:18.20; +41:10:54.70 | -1.9±0.12 | 12.6±0.2 | 0.26±0.005 |
| B2 | M31 | 00:40:02.60; +41:11:53.50 | -2.0±0.14 | 10.0±0.23 | 0.26±0.003 |
| EXT8 | M31 | 00:53:14.53; +41:33:24.50 | -2.8±0.15 | 11.0±0.3 | 0.245±0.005 |
| C39 | M33 | 01:34:49.62; +30:21:55.50 | -2.2±0.15 | 12.6±0.07 | 0.30±0.01 |
| НIII | N147 | 00:33:15.20; +48:27:23.10 | -2.25±0.15 | 12.6±0.21 | 0.30±0.05 |
| РА | N147 | 00:32:35.30; +48:19:48.00 | -2.1±0.16 | 10.0±0.28 | 0.26±0.05 |

Основные характеристики исследуемых скоплений. (колонки 4-6) металличность, возраст и Y, полученные в данной работе.

Глава 2. Анализ спектров очень бедных металлами шаровых скоплений M31

Сравнение изохрон, подобранных при моделировании спектров с Несс-диаграммами скоплений H111 и B317



Несс-диаграммы:

Изображения HST (WFPC2)
(Sharina et al.2006)

Изохроны:

H111 $Z=0.0001$, $Y=0.30$, $\log\text{Age}=10.10$

B317 $Z=0.0004$, $Y=0.26$, $\log\text{Age}=10.10$

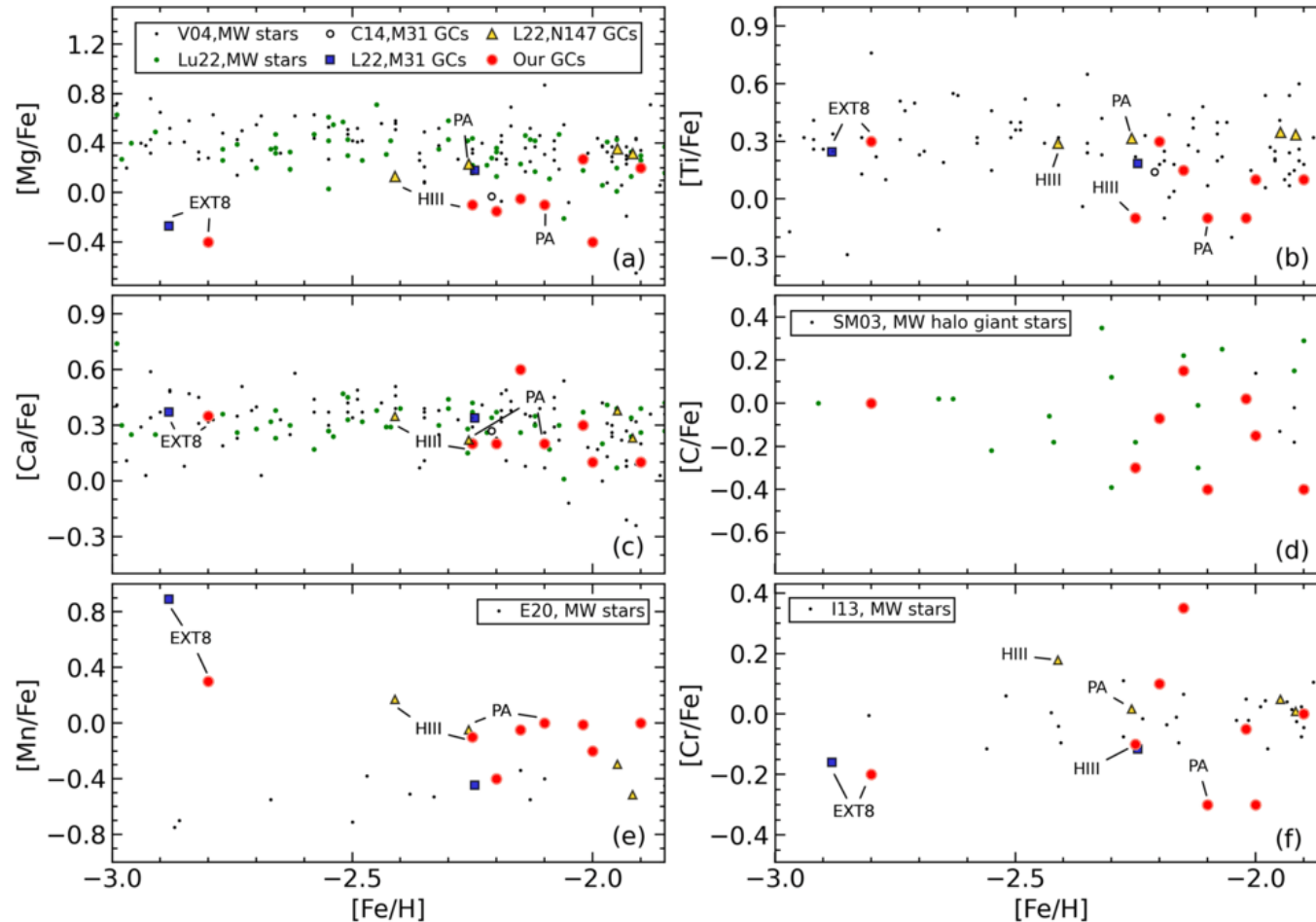
| Об. | $E(B-V)$ | $(m-M)_0$ |
|------|----------------------|----------------------|
| H111 | 0.17 ± 0.15 | 24.36 ± 0.24 |
| | 0.175^{M05} | 24.15^{M05} |
| B317 | 0.08 ± 0.13 | 24.64 ± 0.2 |
| | 0.11^{F08} | |

M05: McConnachie et al. 2005

F08: Fan et al.2008

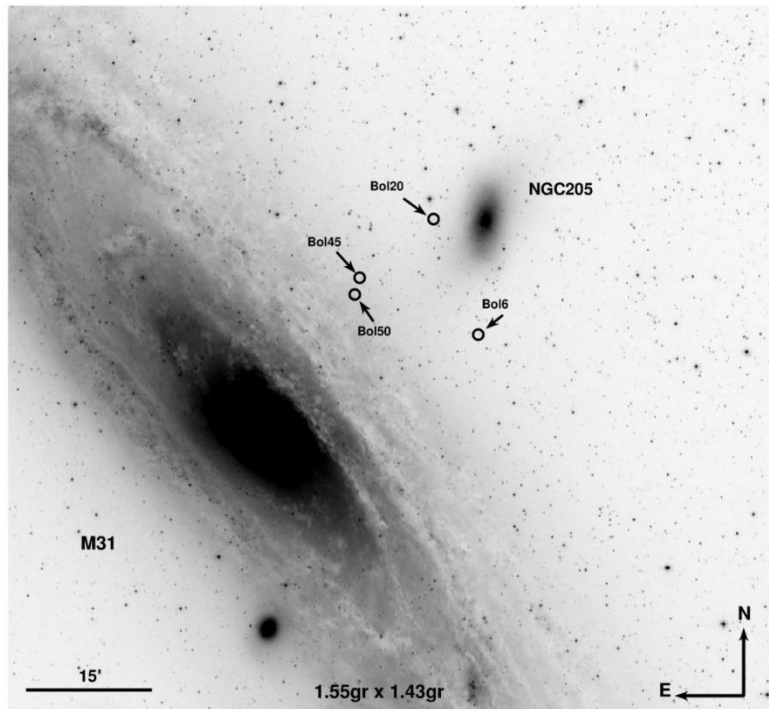
Глава 2. Анализ спектров очень бедных металлами шаровых скоплений М31

Сравнение полученных содержаний (красным) с содержаниями для ШС в окрестностях М31 и звездами поля нашей Галактики:



Шаровые скопления М31:
 C14: Colucci et al. 2014
 L22: Larsen et al. 2022
Звезды поля Галактики:
 V04: Venn et al. 2004
 E20: Eitner et al. 2020
 I13: Ishigaki et al. 2013
 SM03: Smith & Martell 2003
 Lu22: Lucchesi et al. 2022

Глава 3. Исследование спектров четырех шаровых скоплений M31 в проекционной близости к NGC205



Спектры объектов были получены на 6-ти метровом телескопе **БТА CAO РАН 19 сентября 2020** года. Наблюдения проводились на **SCORPIO-1** (Afanasiev et al. (2005)) в режиме спектроскопии с длинной щелью. Грizza **VPHG1200B**, спектральный диапазон **3600-5400 Å**, разрешение $\sim 5.5 \text{ Å}$. Также использовались архивные данные спектрографа Hectospec (**Fabricant et al.(2005)**).

Положение исследуемых шаровых скоплений относительно M31 (кадр цифрового обзора неба DSS).

| Имя | RA hh:mm:ss | DEC (2000) gr:mm:ss | Vel ^a км/с | [Fe/H] dex | Age Gyr | Y |
|-------|----------------|------------------------|--------------------------|---------------|------------|------|
| Bol6 | 00:40:26.47 | +41:27:26.6 | -232.4±6 | -0.75±0.1 | 11.2 | 0.3 |
| Bol20 | 00:40:55.26 | +41:41:25.3 | -345.4±5 | -1.0±0.1 | 13.6 | 0.26 |
| Bol45 | 00:41:43.11 | +41:34:20.1 | -419.4±6 | -1.1±0.1 | 10.5 | 0.25 |
| Bol50 | 00:41:46.27 | +41:32:18.4 | -109.5±6 | -1.1±0.1 | 11.2 | 0.26 |

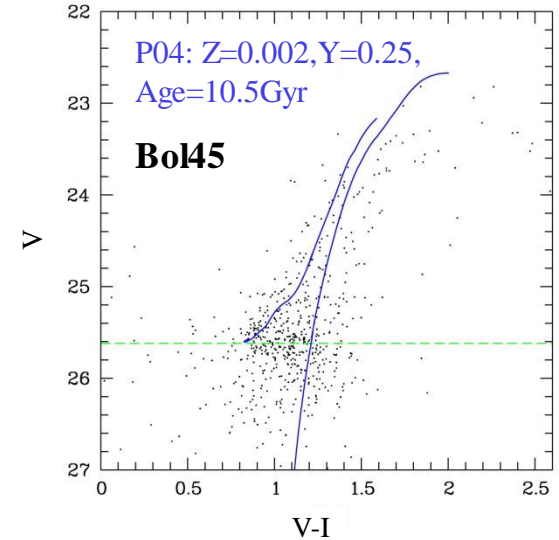
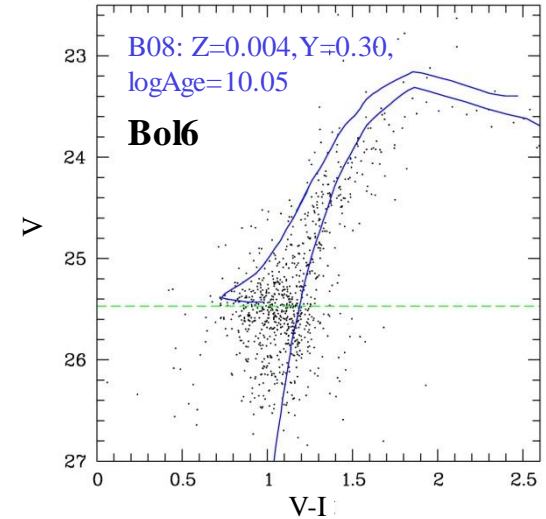
a- Caldwell et al.2011;

Глава 3. Исследование спектров четырех шаровых скоплений M31 в проекционной близости к NGC205

| Об. | [Fe/H], dex | E(B-V) зв.вел. | V _{HB} зв.вел | (m-M) ₀ | Ссылка |
|-------|----------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|--------|
| Bol6 | -0.71 | 0.08 | | 24.57 | ours |
| | ±0.15 | ±0.02 | | ±0.08 | |
| | -0.57 | 0.089 | 25.47 | 24.43 | Aj96 |
| | ±0.15 | ±0.02 | | | |
| | -0.57 | 0.1 | 25.46 | 24.57 | R05 |
| | -0.55 | 0.08 | 25.46 | 24.56 | Fe12 |
| Bol45 | -1.0 | 0.16 | | 24.51 | ours |
| | ±0.3 | ±0.02 | | ±0.08 | |
| | -0.94 | 0.12 | 25.55 | 24.43 | Aj96 |
| | ±0.27 | ±0.03 ^{BH82} | | | |
| | -0.85 | 0.1 | 25.62 | 24.55 | R05 |
| | -0.9 | 0.16 | 25.62 | 24.55 | Fe12 |

Aj96-Ajhar et al. (1996); **R05**-Rich et al. (2005); **Fe12**-Federici et al. (2012); **BH82**-Burstein and Heiles (1982)

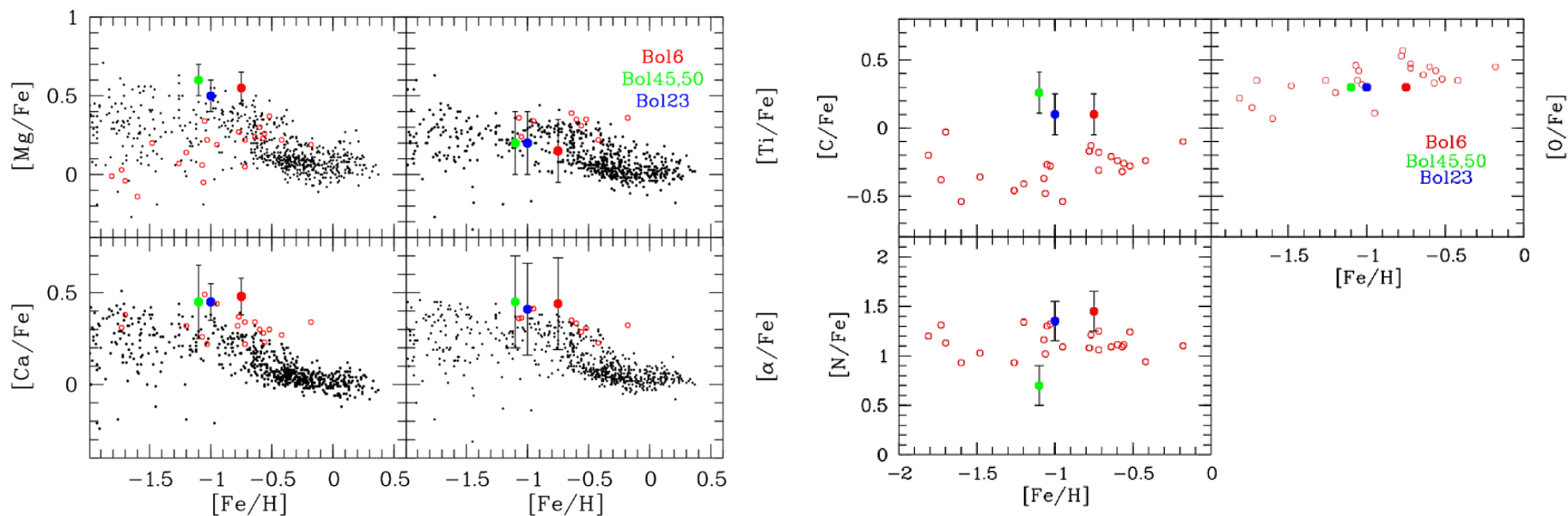
Фотометрия HST (камера WFPC2) в фильтрах F555W и F814W (Ajhar et al. (1996)).



Зеленой пунктирной линией показан уровень горизонтальной ветви V_{HB} из Federici et al. (2012).

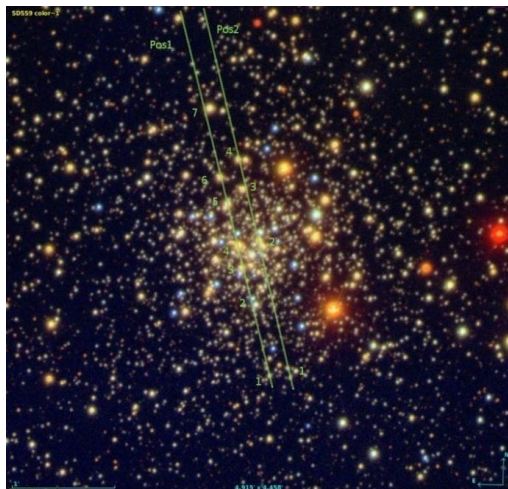
Глава 3. Исследование спектров четырех шаровых скоплений M31 в проекционной близости к NGC205

Сравнение полученных содержаний с содержаниями для ШС в окрестностях M31 из Sakari et al. 2016 и звездами поля нашей Галактики из Venn et al. 2004:

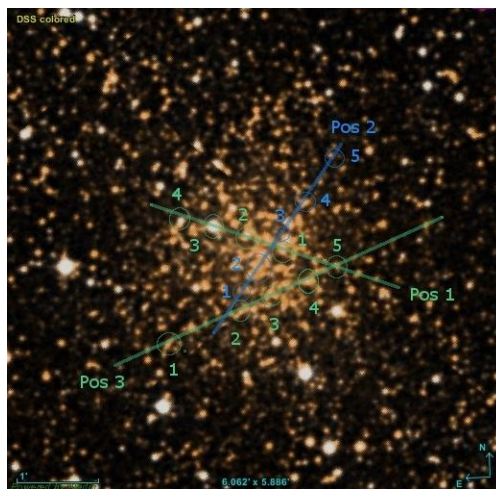


$$[\alpha/\text{Fe}] = 0.45 \pm 0.09 \text{ dex}$$

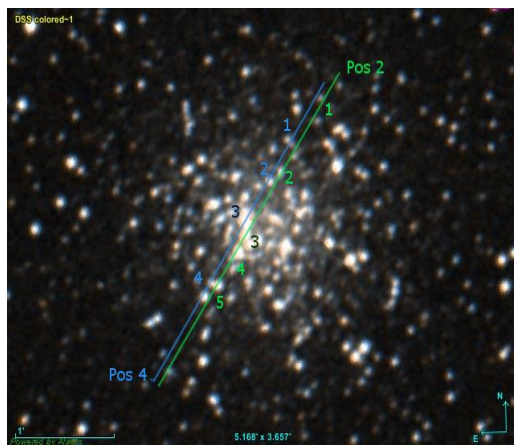
Глава 4. Свойства звездных населений восьми Галактических шаровых скоплений низкой поверхностной яркости



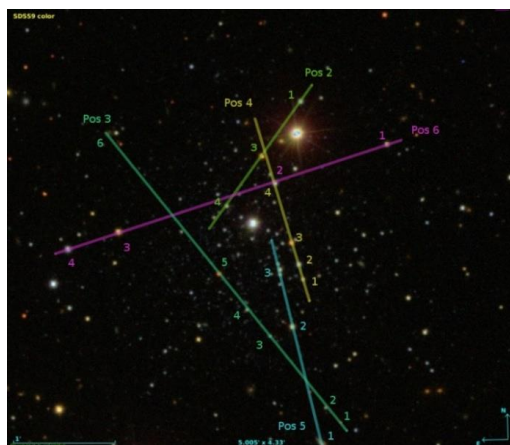
NGC6535



NGC7649



NGC6426



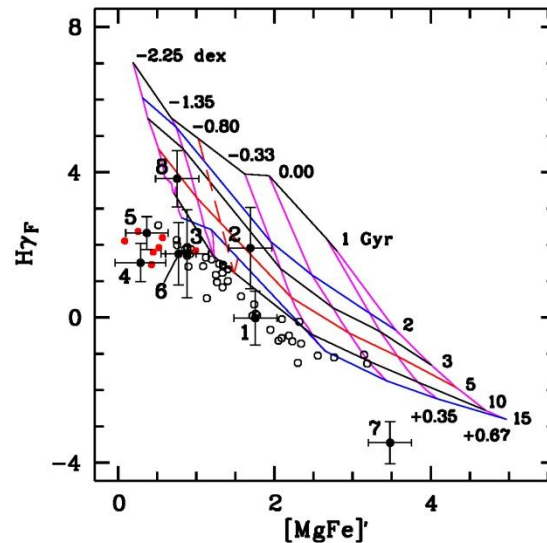
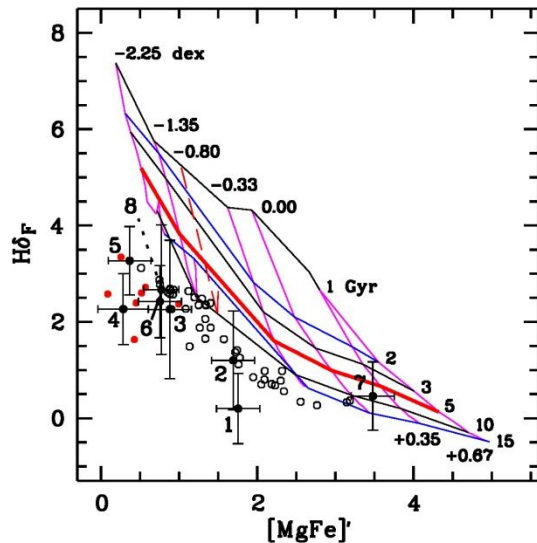
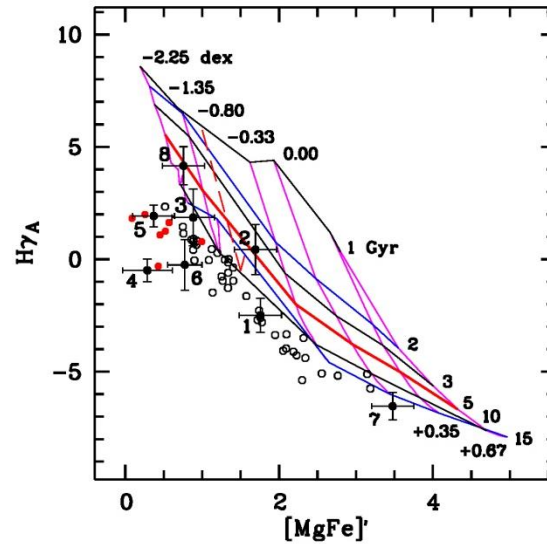
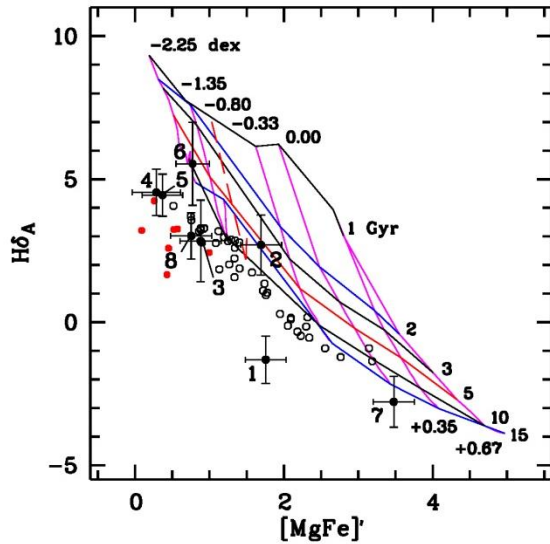
Pal14

Наблюдения проводились с помощью спектрографа **CARELEC** 1.93-м телескопа **обсерватории Верхнего Прованса (ОHP)** в режиме спектроскопии с длинной щелью. Решетка 300 штр./мм, спектральное разрешение примерно $\sim 5.5 \text{ \AA}$ и спектральный диапазон 3700–6800 \AA .

Объекты: Pal1, Pal2, Pal14, NGC6426, NGC6535, NGC6749, Pal10, Pal13

Расположение щелей спектрографа. Длина щели условная. Звезды попавшие в щели спектрографа обозначены цифрами. (цветные изображения обзоров SDSS и DSS)

Глава 4. Свойства звездных населений восьми Галактических шаровых скоплений низкой поверхностной яркости



Модели простых звездных населений D. Thomas et al. (2003,2004)

Открытые кружки - индексы Галактических скоплений из Schiavon et al.(2012)

Красным – скопления сравнения ОНР

- | | |
|------------|------------|
| 1- Pal1 | 5- NGC6535 |
| 2- Pal2 | 6- NGC6749 |
| 3- Pal14 | 7- Pal10 |
| 4- NGC6426 | 8- Pal13 |

$$[Mg/Fe]' = \text{SQRT}(\text{Mgb} * (0.72 * \text{Fe}5270 + 0.28 * \text{Fe}5335));$$

Глава 4. Свойства звездных населений восьми Галактических шаровых скоплений низкой поверхностной яркости

| Объект | Возраст | $H_{\delta F}/H_{\beta}$ | [Fe/H] | [α /Fe] | Ссылка |
|---------|---------|--------------------------|------------|-----------------|---------------------------|
| Pal 1 | 8-10 | 0.09 | -0.8±0.2 | 0.0 | Эта работа |
| Pal2 | 12±2 | 0.99 | -1.5±0.15 | 0.3 | Эта работа |
| NGC7006 | 13.6±1 | 0.82 0 | -1.55 | 0.23 | Pritzlet al.(2005) |
| Pal 14 | 12±1 | 0.92 | -1.3±0.2 | 0.0 | Эта работа |
| NGC6229 | 12.6±1 | 1.00 0 | -1.13 | 0.20 | Johnson et al.(2017) |
| NGC6426 | 13.6±2 | 1.10 | -2.15±0.2 | 0.3 | Эта работа |
| NGC7078 | 13.6±1 | 1.00 0 | -2.28 | 0.14 | Meszáros et al.(2015) |
| NGC6535 | 11.2±1 | 1.23 | -2.2±0.1 | 0.1 | Эта работа |
| NGC6341 | 11.2±1 | 1.24 0 | -1.8 | -0.13 | Sharina et al. (2018) |
| Pal 10 | 10-13.6 | 0.41 | 0.06±0.3 | 0.3 | Эта работа |
| NGC6528 | 12±2 | 0.23 | -0.12±0.24 | 0.28 | Roediger et al. (2014) |
| NGC6749 | 10±3 | 1.17 | -1.3±0.3 | 0.3 | Эта работа |
| NGC6779 | 12.6±1 | 1.17 0 | -1.9±0.1 | 0.08 | Khamidullina et al.(2014) |
| Pal13 | 10±2 | 0.78 | -2.0±0.25 | 0.2 | Эта работа |
| NGC6205 | 10±1 | 1.00 0 | -1.7±0.1 | 0.25 | Sharina et al.(2020) |

Основные результаты

- Выполнено исследование влияния звезд НВ на суммарный спектр излучения скопления. Включение в суммарный спектр стадии НВ приводит немонотонному изменению FWHM и I_{core} бальмеровских линий с возрастом, в отличие от случая учета только более ранних стадий эволюции до НВ. Можно сделать вывод, что недооценка вклада звезд НВ в спектр суммарного излучения может приводить к недооценке возраста шарового скопления.
- Выполнено исследование спектров суммарного излучения восьми внегалактических шаровых скоплений очень низкой металличности ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2$ dex). Все шаровые скопления в выборке старые ($10 \leq T \leq 13.6$ млрд. лет) и имеют протяженные горизонтальные ветви. Химические содержания Ca, Ti, S и Sr хорошо соответствуют содержаниям у звезд поля Галактики. Почти все шаровые скопления выборки, за исключением V317 и V165, имеют низкие содержания Mg ($[\text{Mg}/\text{Fe}] \leq 0$) по сравнению со звездами поля, у которых $[\text{Mg}/\text{Fe}] \sim 0.4$ dex. Это указывает на наличие в этих шаровых скоплениях чрезвычайно обедненных магнием звезд и вероятно наличие множественных звездных населений.

Основные результаты

- Выполнено исследование спектров суммарного излучения четырех ярких шаровых скоплений М31. Общей особенностью скоплений выборки является промежуточная металличность $[Fe/H]$ $[-1.1; -0.75]$ dex и старый возраст 11-14 млрд. лет. Объекты расположены между М31 и ее спутником — карликовой эллиптической галактикой NGC205. Полученные значения $[\alpha/Fe]$ у четырех объектов соответствуют среднему значению $[\alpha/Fe]$ звезд внутреннего гало на данном расстоянии от центра М31 ($[\alpha/Fe] = 0.45 + 0.09$ dex).
- Получены значения Ликских индексов для восьми Галактических скоплений низкой поверхностной яркости. Для них были подобраны Галактические скопления-аналоги по принципу совпадения значений индексов. Подобранные аналоги, соответствуют объектам исследования по возрасту и химическому составу и, как правило, относятся к тем же компонентам структуры Галактики. Для Pal1 полного сходства по значениям индексов не было найдено не было найдено аналогов, что, возможно, говорит о внегалактическом происхождении Pal1.

Научная новизна

- Выполнен анализ наблюдательных данных, полученных на БТА и 1.93-м телескопе в ОНР, результаты для которых ранее не публиковались;
- Впервые представлены параметры звезд горизонтальной ветви, заданные выбранными для анализа спектров изохронами для всех 11 внегалактических шаровых скоплений выборки;
- Впервые получены оценки возрастов для скоплений Vol20, Vol50 (галактика M31) и скопления C39 (галактика M33);
- Впервые получены содержания [C/Fe] для 9 внегалактических скоплений выборки. Содержания Mg, Ca, Ti, Cr, Mn для B317, B2, B165, C39, Vol20, Vol50. Для скоплений Vol6, Vol45 впервые приводятся содержания [Mn/Fe], [Cr/Fe].
- Впервые представлены спектры суммарного излучения восьми Галактических скоплений низкой поверхностной яркости: Pal1, Pal2, Pal10, Pal13, Pal14, NGC6426, NGC6535, NGC6749. Определены их возраста, металличности и средние значения содержаний [α /Fe].

Научная и практическая значимость

- Полученные в данной работе значения возраста, Y и химического состава скоплений необходимы для изучения процессов нуклеосинтеза и эволюции галактик и их подсистем.
- Разработанный алгоритм оптимального подбора изохрон звездной эволюции для расчета синтетических спектров скоплений может быть использован исследователями для изучения свойств звездных населений скоплений и звездных комплексов.
- Построенные зависимости интенсивности бальмеровских линий от возраста и металличности в синтетических суммарного излучения шаровых скоплений помогают в оценке вклада звезд НВ в спектры скоплений и правильной оценке их возраста.
- Полученные значения Ликских индексов, возраста и металличности нескольких Галактических скоплений низкой яркости, изучение которых осложнено удаленностью этих объектов или ослаблением света пылью вблизи плоскости Галактики, могут быть использованы для дальнейшего изучения свойств их звездных населений, а также возможной принадлежности этих объектов звездным потокам.

Основные положения и результаты выносимые на защиту

1. Вывод о том, что оптимальное определение параметров изохрон звездной эволюции для расчета синтетических спектров, наилучшим образом описывающих наблюдаемые спектры суммарного излучения шаровых скоплений, позволяет достичь согласия параметров выбранных изохрон с результатами звездной фотометрии для исследуемых скоплений.
2. Вывод о том, что существует немонотонная зависимость ширины на половине интенсивности (FWHM) и глубины бальмеровских линий в синтетических спектрах суммарного излучения скоплений от возраста, металличности и Y при расчете синтетических спектров с учетом стадии горизонтальной ветви. Зависимость обусловлена изменениями температуры и светимости звезд горизонтальной ветви в моделях звездной эволюции и, следовательно, их вклада в суммарный спектр.

Основные положения и результаты выносимые на защиту

3. Возраст, удельное содержание гелия и химический состав для семи внегалактических шаровых скоплений с очень низкой металличностью ($[Fe/H] < -2$ dex), четырех шаровых скоплений в М31 с промежуточной металличностью ($-1.1 < [Fe/H] < -0.75$ dex) и Галактического скопления с низкой поверхностной яркостью NGC6535, определенные с использованием методики, разработанной Шариной и соавторами в 2020.
4. Возраст, металличность и содержание элементов α -процесса, определенные для восьми Галактических шаровых скоплений с низкой поверхностной яркостью с помощью полученных в работе спектров суммарного излучения, а также с помощью измерения в данных спектрах Ликских абсорбционных индексов и сравнение их с литературными модельными значениями.

Публикации по теме диссертации:

- Sharina M.E., **Maricheva M.I.** Properties of Stellar Populations of Eight Galactic Global Clusters with Low Central Surface Brightness // Astronomy Reports — 2021 — vol. 65, no. 6 — 455—476.
- **Maricheva M.I.** Study of Integrated Spectra of Four Globular Clusters in M31 // Astrophysical Bulletin — 2021 — vol. 76, no 4 — 389—404.
- Sharina M.E., **Maricheva M.I.** Chemical composition and ages of four globular clusters in M31 from the analysis of their integrated-light spectra // Open Astronomy — 2022 — vol. 31, no. 1 - 118-124.
- Sharina M.E., **Maricheva M.I.**, Kniazev A.Y., Shimansky V.V., Acharova I.A. Horizontal branch structure, age, and chemical composition for very metal-poor extragalactic globular clusters // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society — 2024 — vol. 528, no. 4 — 7165—7185.

Апробация

- Семинар САО РАН (10.12.20, САО РАН). Устный доклад: «Свойства звездных населений восьми галактических шаровых скоплений с низкой центральной поверхностной яркостью»;
- Конференция «ВАК-2021» (23-28.08.21, Москва). Постерный доклад: «Исследование интегральных спектров четырех шаровых скоплений М31»;
- «Конкурс-конференция работ сотрудников САО-2022» (08.02.22, САО РАН). Устный доклад: «Исследование интегральных спектров четырех шаровых скоплений М31»;
- Конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения – 2022» (23-27.07.22, САО РАН). Постерный доклад: «Глубина и ширина Бальмеровских линий в спектрах суммарного излучения шаровых скоплений» (Маричева М.И. и Шарина М.Е.);
- Конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра 2022 (НЕА-2022)» (19-22.12.22, ИКИ РАН). Постерный доклад: «Исследование семи низкометаллических шаровых скопления в окрестностях М31»;
- «Конкурс-конференция работ сотрудников САО-2023» (08.02.23, САО РАН). Устный доклад: «Анализ интегральных спектров семи шаровых скоплений в М31»;
- Конференция «Физика звезд: теория и наблюдения» (26-30.06.23, ГАИШ МГУ). Устный доклад: "Моделирование спектров суммарного излучения внегалактических шаровых скоплений».

Личный вклад

- Участие в наблюдениях на телескопе БТА по программе М. Е. Шариной «Свойства звездных населений внегалактических шаровых скоплений».
- Редукция полученных длиннощелевых спектров суммарного излучения шаровых скоплений.
- Определение возраста, удельного содержания гелия и химического состава по методу из Шарина и др. 2020 для объектов данного исследования.
- Расчет значений абсорбционных индексов в Ликской системе и сравнение полученных значений с модельными.
- Построение зависимостей интенсивности бальмеровских линий от возраста и металличности в синтетических суммарного излучения шаровых скоплений и их анализ.
- Разработка программы автоматического подбора изохрон звездной эволюции для расчета синтетических спектров.

Спасибо за внимание!