

МЕТАЛЛИЧНОСТЬ КРАСНЫХ ГИГАНТОВ В БЛИЗКИХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИКАХ

Д. Г. Пурытин¹, Л. Н. Макарова²

¹Санкт-Петербургский государственный университет,

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Галактики Локального Объемы разрешимы на отдельные звезды, поэтому их население может быть изучено с помощью фотометрии. Это позволяет вычлениить отдельные ветви на диаграмме цвет—величина и проанализировать их особенности. Известна зависимость между показателем цвета ветви красных гигантов и металличностью звездного вещества. В данной работе проведен статистический анализ показателей цвета ($V - I$) для ветвей красных гигантов галактик Локального Объемы Вселенной. Разработана программа и техника анализа, реализация которой будет выложена на Github. На основании определенных показателей цвета получены оценки металличности галактик выборки.

METALLICITY OF THE RED GIANTS IN NEARBY DWARF GALAXIES

D. G. Purytin¹, L. N. Makarova²

¹Saint Petersburg State University, ²Special Astrophysical Observatory

For Local Volume galaxies individual stars can be observed, so their populations can be studied using photometry. This allows to isolate individual branches on the color—magnitude diagram and analyze their features. There is a known relationship between the color index of the red giant branch and the metallicity of stellar matter. In this work, a statistical analysis of color indices ($V - I$) for the red giant branches of galaxies of the Local Volume of the Universe was carried out. A program and analysis technique have been developed, the implementation of which will be posted on GitHub. Based on certain color indices, estimates of the metallicity of the sample galaxies were obtained.

Введение

Космический телескоп Хаббл существенно расширил диапазон доступных для изучения данных. Глубокие диаграммы цвет—величина могут быть получены за относительно скромное время, предоставляя возможность увидеть вершину ветви красных гигантов (TRGB) — поздний этап эволюции звезд сравнительно малых масс. В конечной точке пути по ветви красных гигантов гелиевое ядро звезд переходит в вырожденное состояние, что приводит к быстрому падению их яркости. На диаграмме цвет—величина это проявляется скачкообразным разрывом функции светимости красных гигантов на уровне TRGB [1]. Абсолютная звездная величина этой вершины может быть использована как стандартная свеча, точность которой не уступает методу Цефеид, но диапазон применения значительно шире, позволяя измерять расстояния до большинства галактик в радиусе 10 Мпк за один пролет телескопа Хаббл.

Морфология ветви красных гигантов во многом определяется металличностью звездного вещества, а потому возможна и реконструкция — определение металличности по параметрам ветви. В работе [2] приводится зависимость показателя цвета ($V - I$) красных

гигантов на уровне $M_I = -3.5^m$ (то есть на $0.3\text{--}0.4^m$ ниже TRGB), справедливая в диапазоне $-2.2 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.7$ dex:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -12.64 + 12.6 \cdot (V - I)_{(-3.5)} - 3.3 \cdot (V - I)_{(-3.5)}^2. \quad (1)$$

Пользуясь этим соотношением мы оценили значения металличности для галактик нашей выборки.

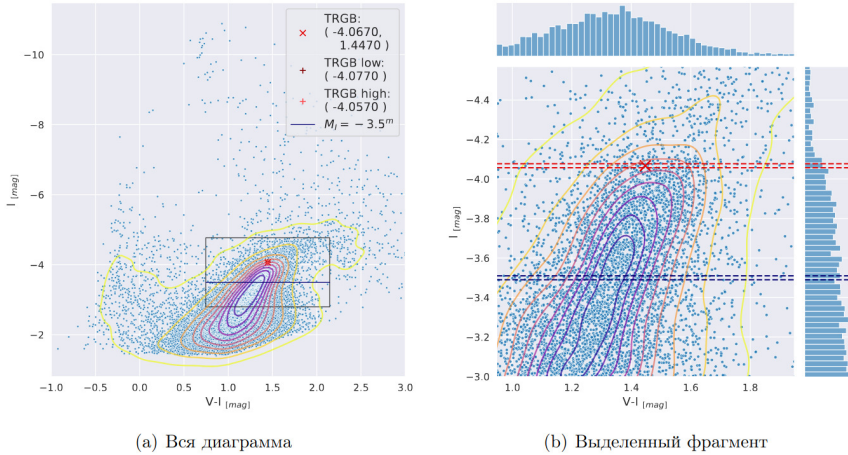


Рис. 1. Диаграмма цвет—величина для галактики ESO272-25 (pgc 52591). По оси абсцисс отложен показатель цвета ($V - I$), по оси ординат — абсолютная звездная величина в фильтре I. Слева красными крестами отмечены положение вершины ветви красных гигантов и доверительный интервал. Синий крест расположен на исследуемой нами высоте -3.5^m . Отсутствие звезд в нижнем правом углу есть следствие фотометрического предела. Справа — гистограммы распределения звезд вдоль осей соответственно. На гистограмме справа можно заметить падение числа звезд на уровне TRGB и выше, что соответствует теории

Данные

Использовалась база данных EDD (The Extragalactic Distance Database), разрабатываемая и используемая совместно лабораторией Внегалактической астрофизики и космологии CAO РАН и Института астрономии при Университете Гавайи. База данных хранится на сервере на Гавайях при Институте астрономии, публичный доступ осуществляется по ссылке <https://edd.ifa.hawaii.edu> [2].

Данные представляют собой результаты звездной фотометрии изображений, полученных на Космическом телескопе Хаббл с помощью инструментов Advanced Camera for Surveys (ACS), Wide Field Planetary Camera 2 (WFPC2) и Wide Field Camera 3 (WFC3). Фотометрия проводилась с помощью пакета программ DOLPHOT [3]. В базе представлены результаты обработки 556 галактик, из которых только у 440 приводятся достоверные оценки положения TRGB на диаграмме цвет—звездная величина, полученные по методике, описанной в [4]. Именно эти галактики являются предметом нашего изучения.

Описание методики

На первом шаге необходима корректировка фотометрических данных — перевод видимых звездных величин в абсолютные с учетом поглощения в межзвездной среде нашей Галактики. Для этого мы используем результаты вычислений из работы [5].

Пример диаграммы цвет—величина одной из галактик Локального Объема можно увидеть на рис. 1, *a*. Предмет нашего изучения — ветвь красных гигантов — показана крупным планом справа. Выделим все звезды, абсолютная звездная величина которых, с необходимым учетом ошибок, может быть равной -3.5^m (рис. 2). Для удобства ограничим эту область слева показателем цвета $V - I = 0.6^m$ и справа $V - I = 2.6^m$, эти границы заведомо включают все звезды ветви красных гигантов.

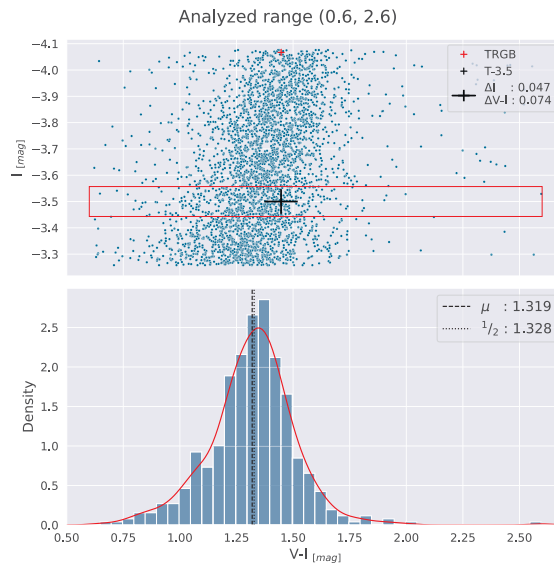


Рис. 2. Диаграмма цвет—величина и гистограмма звезд на выделенном уровне. Крест демонстрирует величины фотометрических ошибок (1σ) вдоль осей. Выделенная красным область простирается по оси абсцисс от $V - I = 0.6$ до 2.6 , по оси ординат содержит крест ошибок + погрешность определения TRGB. Звезды попавшие в эту область, мы используем для определения положения максимума плотности. Снизу приведены гистограмма их распределения, среднее и медиана

В качестве показателя цвета ветви мы используем то значение $(V - I)$, на котором плотность звезд максимальная. Положение такого максимума мы определяем методом Kernel Density Estimation [6], где в качестве ядра берем нормальное распределение со стандартным отклонением, равным фотометрической ошибке.

Положение максимума может быть очень чувствительно к малым смещениям отдельных звезд. Поэтому для уточнения результата проведем серию экспериментов методом Монте-Карло. Изменим цвета имеющихся звезд, сместив их случайным образом с нормальной ошибкой. Снова построим функцию плотности и найдем новый максимум. Проведя подобный эксперимент 1000 раз, получим набор значений максимумов плотности (рис. 3). Возьмем его среднее как оценку цвета и среднеквадратическое отклонение как погрешность. Остается подставить в формулу (1) и получить искомую оценку металличности.

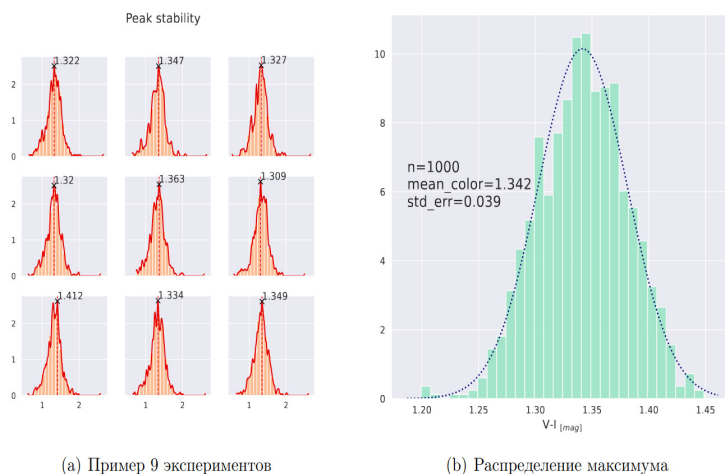


Рис. 3. Метод Монте-Карло. Слева — положения звезд были изменены случайным образом с нормально распределенными смещениями. Стандартное отклонение смещения равно фотометрической ошибке. В каждом эксперименте отмечен максимум плотности. Справа — результат 1000 экспериментов. Представлена гистограмма распределения максимума плотности. Результат $V - I = 1.338^m$, $\sigma = 0.041^m$

Результаты вычислений и заключение

На данный момент частично обработаны наблюдения, проводившиеся на инструменте ACS. На основе этих данных достоверными можно назвать 127 результатов, еще 49 имеют изъяны. В основном это сильные помехи от фотометрического предела, но также недостаточное число звезд для точной аппроксимации или неоднозначность определения максимума.

Тем не менее стоит отметить, что изображения, полученные с ACS, составляют большую часть выборки. Из-за большого поля зрения и глубины фотометрического предела эти измерения стоит считать опорными.

Мы вычислили значения металличности красных гигантов для этих галактик, однако полный анализ выборки требует дальнейших усилий.

Библиографические ссылки

- [1] *Lee M. G., Freedman W. L., Madore B. F.* The tip of the red giant branch as a distance indicator for resolved galaxies // *Astrophys. J.* — 1993. — Vol. 417. — P. 553–559.
- [2] *Anand G. S., Rizzi L., Tully B. F. et al.* The Extragalactic Distance Database: The Color–Magnitude Diagrams/Tip of the Red Giant Branch Distance Catalog // *Astron. J.* — 2021. — Vol. 162. — P. 80.
- [3] *Dolphin A.* DOLPHOT: Stellar Photometry, Astrophysics Source Code Library // *Ascl.* — 2016.
- [4] *Makarov D. I., Makarova L. N., Rizzi L. et al.* Tip of The Red Giant Branch Distances. I. Optimization of a Maximum Likelihood Algorithm // *Astron. J.* — 2006. — Vol. 132. — P. 2729–2742.
- [5] *Schlafly E. F., Finkbeiner D. G.* Measuring Reddening With Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra And Recalibrating SFD // *Astrophys. J.* — 2011. — Vol. 737. — P. 103.
- [6] *Scott D. W.* Multivariate Density Estimation : Theory, Practice, and Visualization. — New York, Chichester : John Wiley & Sons, 1992.