

ЗВЕЗДЫ — ГОЛУБЫЕ БРОДЯГИ

В лекции приводится обзор основных результатов в исследовании голубых бродяг, полученных за последние 5—7 лет. Библиография этих результатов дана в настоящей публикации.

The lecture gives an overview of general results in investigations of Blue Straggler stars obtained during the period of last 5—7 years. The bibliography of these results is listed in this publication.

Введение

Исследованию феномена голубых бродяг (BSS) в последние 5—7 лет было посвящено большое количество работ. В итоге были достигнуты серьезные успехи в изучении этих объектов. Обзор полученных результатов приводится в лекции, а библиография исследований — в настоящей публикации. Основное количество исследований выполнено в рамках двух рабочих групп. Исследованиями BSS в шаровых скоплениях (ШС) занимается группа под руководством профессора Ф. Ферраро (Университет Болоньи, Италия), исследования BSS в рассеянных звездных скоплениях (РЗС) координируются в рамках проекта WOCs (США). WOCs — это аббревиатура WIYN Open Cluster Study, группа по изучению РЗС из университетов Висконсина, Индианы и Йельского университета, а также Национальных оптических астрономических обсерваторий (NOAO).

В 2015 г. в серии “Astrophysics and Space Science Library” вышла книга “Ecology of Blue Straggler Stars” под редакцией Г. М. Дж. Боффина, Дж. Карраро и Дж. Беккари [1]. В книге систематизированы как наблюдательные, так и теоретические аспекты исследования голубых бродяг, приводится обширная библиография. Замечательно, что все главы книги опубликованы в arXiv.org.

Необходимо отметить, что термин «голубые бродяги» — это не точный перевод оригинального термина “blue stragglers”, а, скорее, романтический. Гораздо точнее смысл термина передается сочетанием «голубые отставшие звезды».

Голубые бродяги в шаровых скоплениях

Значительная часть работ посвящена исследованию населения BSS в отдельных ШС: ω Cen [2, 3], NGC 5824 [4], NGC 362 [5], NGC 6752 [6], NGC 5466 [7], M 10 [8], AM1, Eridanus, Pal 3 и Pal 4 [9], NGC 6397 [10], NGC 6229 [11], NGC 6864 [12], Pal 14 [13], M 4 [14], 47 Tuc [15, 16], NGC 1261 [17], NGC 3201 и NGC 6218 [3].

Один из наиболее интересных результатов был получен для скопления M 30, где на диаграмме звездная величина — показатель цвета голубые бродяги образуют две последовательности [18, 19]. Этот факт связывается с двумя различными механизмами образования BSS (см. ниже). Подобное распределение BSS обнаружено также в скоплении NGC 362 [5].

BSS, точнее их распределение по расстоянию от центра скопления, рассматривается как динамические часы, определяющие динамический возраст скопления [20]. Динамический возраст скопления — это отношение возраста скопления ко времени столкновительной релаксации. Динамически молодые скопления показывают плоское распределение голубых бродяг. Скопления, промежуточного возраста показывают бимодальное распределение. Динамически старые скопления показывают одномодальное распределение.

Одна из серьезных проблем в исследовании BSS — это поиск проэволюционировавших BSS (E-BSS), то есть звезд, ушедших с главной последовательности [21]. Сложность их обнаружения заключается в том, что такие звезды попадают в область на диаграмме звездная величина — показатель цвета, занятую звездами асимптотической ветви гигантов (AGB). Для отождествления E-BSS необходимо измерить массу звезды, чтобы убедиться, что она массивнее «обычных» звезд AGB [22–24].

На сегодня рассматриваются два наиболее вероятных сценария образования BSS: это перенос вещества в тесной двойной системе и прямое столкновение (слияние) звезд. Различные сценарии образования BSS рассматриваются в работах [16, 25–29]. Оба механизма приводят к аномалиям химического состава.

Химический состав BSS исследуется в работах [19, 30], измерению масс BSS посвящены работы [23, 24, 31].

Необходимо отметить, что исследовать свойства BSS и их распределение в ШС (или РЗС) очень удобно с помощью наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне (УФ), так как в УФ BSS являются одними из наиболее ярких звезд скопления [4, 8, 15, 16].

Голубые бродяги в рассеянных звездных скоплениях

Большое количество работ посвящено исследованию населения BSS в рассеянном скоплении NGC 188 [32–37]. В основном это работы Р. Д. Мэттью (Университет Висконсин, Мэдисон) и его бывшего аспиранта А. Геллера (Северо-западный Университет, Иллинойс, и Университет Чикаго).

Очень интересная работа посвящена обнаружению E-BSS в скоплении М 67 [22]. Звезда, которую авторы работы называли Yellow Straggler Star (YSS), была обнаружена по ее избыточной массе с помощью астросейсмологических наблюдений.

Происхождение BSS в рассеянных скоплениях обсуждается в работах [33–35, 38–40].

С процессами переноса вещества в тесных двойных системах связано также образование еще одного очень интересного феномена — «красных бродяг», или суб-субгигантов (SSG) [41].

Голубые бродяги в карликовых галактиках, голубые бродяги поля

Звезды — голубые бродяги — образуются также в звездных скоплениях в карликовых спутниках нашей Галактики. Их исследованию посвящены работы [42–44].

BSS присутствуют и среди звезд поля [45–47]. Они могут попадать туда, уходя из звездных скоплений либо образуясь в ходе эволюции тесных двойных систем, не являющихся членами скоплений.

Библиографические ссылки

1. *Boffin H. M. J., Carraro G., Beccari G.* Ecology of Blue Straggler Stars. — 2015.
2. *Mucciarelli A., Lovisi L., Ferraro F. R. et al.* Spinning Like a Blue Straggler: The Population of Fast Rotating Blue Straggler Stars in ω Centauri // *Astrophys. J.* — 2014. — Vol. 797. — P. 43.
3. *Simunovic M., Puzia T. H.* Blue Straggler Star Populations in Globular Clusters. I. Dynamical Properties of Blue Straggler Stars in NGC 3201, NGC 6218, and ω Centauri // *Astrophys. J.* — 2014. — Vol. 782. — P. 49.

4. *Sanna N., Dalessandro E., Ferraro F. R. et al.* The WFPC2 Ultraviolet Survey: The Blue Straggler Population in NGC 5824 // *Astrophys. J.* — 2014. — Vol. 780. — P. 90.
5. *Dalessandro E., Ferraro F. R., Massari D. et al.* Double Blue Straggler Sequences in Globular Clusters: The Case of NGC 362 // *Astrophys. J.* — 2013. — Vol. 778. — P. 135.
6. *Lovisi L., Mucciarelli A., Dalessandro E. et al.* Another Brick in Understanding Chemical and Kinematical Properties of BSSs: NGC 6752 // *Astrophys. J.* — 2013. — Vol. 778. — P. 64.
7. *Beccari G., Dalessandro E., Lanzoni B. et al.* Deep Multi-telescope Photometry of NGC 5466. I. Blue Stragglers and Binary Systems // *Astrophys. J.* — 2013. — Vol. 776. — P. 60.
8. *Dalessandro E., Ferraro F. R., Lanzoni B. et al.* Ultraviolet Observations of the Globular Cluster M10 from HST and GALEX: The BSS Population // *Astrophys. J.* — 2013. — Vol. 770. — P. 45.
9. *Beccari G., Lützgendorf N., Olczak C. et al.* The Central Blue Straggler Population in Four Outer-halo Globular Clusters // *Astrophys. J.* — 2012. — Vol. 754. — P. 108.
10. *Lovisi L., Mucciarelli A., Lanzoni B. et al.* Chemical and Kinematical Properties of Blue Straggler Stars and Horizontal Branch Stars in NGC 6397 // *Astrophys. J.* — 2012. — Vol. 754. — P. 91.
11. *Sanna N., Dalessandro E., Lanzoni B. et al.* The blue straggler star population in NGC 6229 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2012. — Vol. 422. — P. 1171–1177.
12. *Contreras Ramos R., Ferraro F. R., Dalessandro E. et al.* The Unimodal Distribution of Blue Straggler Stars in M75 (NGC 6864) // *Astrophys. J.* — 2012. — Vol. 748. — P. 91.
13. *Beccari G., Sollima A., Ferraro F. R. et al.* The Non-segregated Population of Blue Straggler Stars in the Remote Globular Cluster Palomar 14 // *Astrophys. J. Lett.* — 2011. — Vol. 737. — P. L3.
14. *Lovisi L., Mucciarelli A., Ferraro F. R. et al.* Fast Rotating Blue Stragglers in the Globular Cluster M4 // *Astrophys. J. Lett.* — 2010. — Vol. 719. — P. L121–L125.
15. *Parada J., Richer H., Heyl J. et al.* Dynamical Estimate of Post-main-sequence Stellar Masses in 47 Tucanae // *Astrophys. J.* — 2016. — Vol. 826. — P. 88.

16. *Parada J., Richer H., Heyl J. et al.* Formation and Evolution of Blue Stragglers in 47 Tucanae // *Astrophys. J.* — 2016. — Vol. 830. — P. 139.
17. *Simunovic M., Puzia T. H., Sills A.* The Blue Straggler Star Population in NGC 1261: Evidence for a Post-core-collapse Bounce State // *Astrophys. J. Lett.* — 2014. — Vol. 795. — P. L10.
18. *Ferraro F. R., Beccari G., Dalessandro E. et al.* Two distinct sequences of blue straggler stars in the globular cluster M 30 // *Nature.* — 2009. — Vol. 462. — P. 1028–1031.
19. *Lovisi L., Mucciarelli A., Lanzoni B. et al.* Flames and XSHOOTER Spectroscopy along the Two Blue Straggler Star Sequences of M30 // *Astrophys. J.* — 2013. — Vol. 772. — P. 148.
20. *Ferraro F. R., Lanzoni B., Dalessandro E. et al.* Dynamical age differences among coeval star clusters as revealed by blue stragglers // *Nature.* — 2012. — Vol. 492. — P. 393–395.
21. *Ferraro F. R., Lapenna E., Mucciarelli A. et al.* Weighing Stars: The Identification of an Evolved Blue Straggler Star in the Globular Cluster 47 Tucanae // *Astrophys. J.* — 2016. — Vol. 816. — P. 70.
22. *Leiner E., Mathieu R., Stello D., Vanderburg A.* The K2 M67 Study: An Evolved Blue Straggler in M67 from K2 Mission Asteroseismology // *ArXiv e-prints.* — 2016. 1611.01158.
23. *Fiorentino G., Lanzoni B., Dalessandro E. et al.* Blue Straggler Masses from Pulsation Properties. I. The Case of NGC 6541 // *Astrophys. J.* — 2014. — Vol. 783. — P. 34.
24. *Fiorentino G., Marconi M., Bono G. et al.* Blue Straggler Masses from Pulsation Properties. II. Topology of the Instability Strip // *Astrophys. J.* — 2015. — Vol. 810. — P. 15.
25. *Xin Y., Ferraro F. R., Lu P. et al.* The Binary Mass Transfer Origin of the Red Blue Straggler Sequence in M30 // *Astrophys. J.* — 2015. — Vol. 801. — P. 67.
26. *Stepien K., Pamyatnykh A. A., Rozyczka M.* Evolutionary history of four binary blue stragglers from the globular clusters ω Cen, M55, 47 Tuc and NGC 6752 // *ArXiv e-prints.* — 2016. 1610.02199.
27. *Antonini F., Chatterjee S., Rodriguez C. L. et al.* Black Hole Mergers and Blue Stragglers from Hierarchical Triples Formed in Globular Clusters // *Astrophys. J.* — 2016. — Vol. 816. — P. 65.

28. *Chatterjee S., Rasio F. A., Sills A., Glebbeek E.* Stellar Collisions and Blue Straggler Stars in Dense Globular Clusters // *Astrophys. J.* — 2013. — Vol. 777. — P. 106.
29. *Perets H. B., Fabrycky D. C.* On the Triple Origin of Blue Stragglers // *Astrophys. J.* — 2009. — Vol. 697. — P. 1048–1056.
30. *Lovisi L.* Chemical abundances of blue straggler stars in Galactic globular clusters // *Mem. Soc. Astron. It.* — 2014. — Vol. 85. — P. 283.
31. *Baldwin A. T., Watkins L. L., van der Marel R. P. et al.* Hubble Space Telescope Proper Motion (HSTPROMO) Catalogs of Galactic Globular Clusters. IV. Kinematic Profiles and Average Masses of Blue Straggler Stars // *Astrophys. J.* — 2016. — Vol. 827. — P. 12.
32. *Mathieu R. D., Geller A. M.* A binary star fraction of 76 per cent and unusual orbit parameters for the blue stragglers of NGC 188 // *Nature.* — 2009. — Vol. 462. — P. 1032–1035.
33. *Geller A. M., Mathieu R. D.* A mass transfer origin for blue stragglers in NGC 188 as revealed by half-solar-mass companions // *Nature.* — 2011. — Vol. 478. — P. 356–359.
34. *Geller A. M., Hurley J. R., Mathieu R. D.* Direct N-body Modeling of the Old Open Cluster NGC 188: A Detailed Comparison of Theoretical and Observed Binary Star and Blue Straggler Populations // *Astron. J.* — 2013. — Vol. 145. — P. 8.
35. *Gosnell N. M., Mathieu R. D., Geller A. M. et al.* Detection of White Dwarf Companions to Blue Stragglers in the Open Cluster NGC 188: Direct Evidence for Recent Mass Transfer // *Astrophys. J. Lett.* — 2014. — Vol. 783. — P. L8.
36. *Mathieu R. D., Geller A. M.* The Blue Stragglers of the Old Open Cluster NGC 188 // *Ecology of Blue Straggler Stars* / ed. by H. M. J. Boffin, G. Carraro, G. Beccari. — 2015. — P. 29.
37. *Gosnell N. M., Mathieu R. D., Geller A. M. et al.* Implications for the Formation of Blue Straggler Stars from HST Ultraviolet Observations of NGC 188 // *Astrophys. J.* — 2015. — Vol. 814. — P. 163.
38. *Lu P., Deng L.-C., Zhang X.-B.* Modeling blue stragglers in young clusters // *Research in Astronomy and Astrophysics.* — 2011. — Vol. 11. — P. 1336–1350.
39. *Schneider F. R. N., Izzard R. G., de Mink S. E. et al.* Ages of Young Star Clusters, Massive Blue Stragglers, and the Upper Mass

- Limit of Stars: Analyzing Age-dependent Stellar Mass Functions // *Astrophys. J.* — 2014. — Vol. 780. — P. 117.
40. *Geller A. M., Leigh N. W. C.* Interrupted Stellar Encounters in Star Clusters // *Astrophys. J. Lett.* — 2015. — Vol. 808. — P. L25.
 41. *Leiner E., Geller A., Mathieu R.* On the Origins of Sub-Subgiants: Mass Transfer, Dynamical Encounters, and Magnetic Fields // *Proceedings of the Frank N. Bash Symposium 2015 (BASH2015)*. 18–20 Oct. The University of Texas at Austin, USA. — 2015. — P. 32.
 42. *Carraro G., Seleznev A. F.* An analysis of the blue straggler population in the Sgr dSph globular cluster Arp 2 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2011. — Vol. 412. — P. 1361–1366.
 43. *Li C., de Grijs R., Deng L., Liu X.* Blue Straggler Evolution Caught in the Act in the Large Magellanic Cloud Globular Cluster Hodge 11 // *Astrophys. J. Lett.* — 2013. — Vol. 770. — P. L7.
 44. *Momany Y.* The Blue Straggler Population in Dwarf Galaxies // *Ecology of Blue Straggler Stars* / ed. by H. M. J. Boffin, G. Carraro, G. Beccari. — 2015. — P. 129.
 45. *Preston G. W.* Field Blue Stragglers and Related Mass Transfer Issues // *Ecology of Blue Straggler Stars* / ed. by H. M. J. Boffin, G. Carraro, G. Beccari. — 2015. — P. 65.
 46. *Schirbel L., Meléndez J., Karakas A. I. et al.* HIP 10725: The first solar twin/analogue field blue straggler // *Astron. Astrophys.* — 2015. — Vol. 584. — P. A116.
 47. *Jofré P., Jorissen A., Van Eck S. et al.* Cannibals in the thick disk: the young α -rich stars as evolved blue stragglers // *Astron. Astrophys.* — 2016. — Vol. 595. — P. A60.