

СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК

Л. И. Машонкина

Институт астрономии Российской академии наук

В лекции описан вклад спектроскопии высокого разрешения в исследовании химической эволюции галактик.

HIGH-RESOLUTION SPECTROSCOPY FOR A STUDY OF GALACTIC CHEMICAL EVOLUTION

L. I. Mashonkina

Institute of Astronomy, RAS

This paper reviews a role of high-resolution spectroscopy in studies of galactic chemical evolution.

Наша Галактика — Млечный Путь (МП) окружена системой спутников, большая часть которых была обнаружена в последнее десятилетие. Сейчас их насчитывается около 50 и число продолжает расти. Самые известные и массивные (~ 10 млрд солнечных масс) из них — Большое и Малое Магеллановы Облака. Но лекция будет посвящена карликовым галактикам, среди которых выделяют классические сфероидальные (dwarf spheroidals, dSphs) с массами $\sim 10^8 M_{\odot}$ и галактики с ультранизкой поверхностной яркостью (Ultra Faint Dwarfs, UFDs), число звезд в которых сравнимо и даже меньше, чем в шаровых скоплениях. Звездообразование в большинстве карликовых галактик давно остановилось, но наблюдения свидетельствуют о том, что даже в самых маленьких из них происходила химическая эволюция. В малых звездных системах и число сверхновых, обогативших галактическое вещество металлами, было невелико. Поэтому содержание химических элементов в звездах, сформировавшихся в эпоху нуклеосинтеза и сохранившихся до настоящего времени, отражает относительный выход элементов в единичных эпизодах нуклеосинтеза, в отличие от нашей Галактики, где мы почти всегда имеем дело с усредненным по многим эпизодам выходом элементов. Сравнение наблюдаемого распределения содержания у звезд в карликовых галактиках с теоретическим выходом элементов у звезд разных масс, позволяет судить о массах сверхновых и

начальной функции масс системы. Сравнение разных галактик необходимо для уточнения наших представлений о зависимости процессов звездообразования от массы системы. Другое важное направление — механизмы и места производства химических элементов, эффективность перемешивания продуктов нуклеосинтеза в межзвездной среде. До сих пор не установлено астрофизическое место быстрого (rapid, r) процесса нейтронных захватов — ядерных реакций, в которых синтезируются изотопы тяжелых элементов ($Z > 28$); неизвестны ни механизм, ни место синтеза в ранней Галактике таких элементов, как Sr, Y, Zr; требуют улучшения модели синтеза элементов с нечетным зарядом ядра Na и Al. В течение всего времени своего существования галактические спутники испытывали приливные эффекты со стороны МП. Это изменило звездное население как карликовых галактик, так и МП. Сравнительный анализ разных галактик помогает понять, как происходило «загрязнение» гало нашей Галактики. Проблемы и достижения в изучении карликовых галактик по состоянию на 2009 г. изложены в обзоре [1].

Наблюдательные данные для изучения химической эволюции системы и ее важнейших параметров — начальной функции масс и скорости звездообразования — получают путем определения содержания химических элементов у звезд разного возраста. Наилучшим образом для этой цели подходят звезды поздних спектральных классов — маломассивные и долгоживущие, со временем эволюции, сравнимым с возрастом Галактики. А детальный анализ химического состава возможен только по спектрам высокого разрешения с $R = \lambda/\Delta\lambda \geq 30\,000$. Прогресс наблюдательной техники позволяет получать такие спектры для наиболее ярких звезд в ближайших галактиках. И все-таки статистика наблюдений, особенно в режиме низкой металличности ($[\text{Fe}/\text{H}] = \log(n_{\text{Fe}}/n_{\text{H}}) - \log(n_{\text{Fe}}/n_{\text{H}})_{\odot} < -2$) и особенно для UFDs, невелика. Поэтому для поиска закономерностей в поведении содержания того или иного элемента в отдельной галактике и сравнения разных галактик очень важно иметь точные и однородные данные, полученные с использованием современных методов расчета теоретического спектра и определения параметров атмосферы звезды.

Лекция состоит из следующих частей:

- определение и проверка атмосферных параметров для холодных гигантов с дефицитом металлов на примере звезд в галактиках в созвездиях Скульптор, Малая Медведица и др.;
- введение в методы моделирования формирования спектраль-

- ных линий в неравновесных условиях звездных атмосфер;
- результаты определения содержания элементов, синтезируемых в α -процессе и r -процессе, элементов группы Fe, элементов с нечетным зарядом ядра у звезд в разных карликовых галактиках в сравнении с нашей Галактикой;
 - анализ галактических трендов элементных отношений с точки зрения химической эволюции галактик.

Результаты определения содержания химических элементов у звезд в семи карликовых галактиках и их интерпретация даны в работах [2, 3].

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований РАН, подпрограмма «Астрофизические объекты как космические лаборатории».

Библиографические ссылки

1. *Tolstoy E., Hill V., Tosi M.* Star-Formation Histories, Abundances, and Kinematics of Dwarf Galaxies in the Local Group // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* — 2009. — Vol. 47. — P. 371–425. 0904.4505.
2. *Mashonkina L., Jablonka P., Pakhomov Y. et al.* The formation of the Milky Way halo and its dwarf satellites; a NLTE-1D abundance analysis. I. Homogeneous set of atmospheric parameters // *Astron. Astrophys.* — 2017. — Vol. 604. — P. A129. 1704.07656.
3. *Mashonkina L., Jablonka P., Sitnova T. et al.* The formation of the Milky Way halo and its dwarf satellites; a NLTE-1D abundance analysis. II. Early chemical enrichment // *ArXiv e-prints.* — 2017. 1709.04867.