ФОРМИРОВАНИЕ И ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ КАРЛИКОВОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 147

Т. В. Никитюк

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины
03680 Киев ГСП, ул. Академика Заболотного, 27
e-mail: nikita@mao.kiev.ua

Сценарий иерархического слияния рассматривает формирование массивных галактик путем слияния меньших звездных систем. Предполагается, что “кирпичиками” для формирования массивных спиральных галактик Местной группы могли служить системы, подобные карликовым галактикам – спутникам этих спиральных галактик. Чтобы проверить это предположение, была рассчитана химическая эволюция в рамках сценария слияния для NGC 147, карликовой галактики-спутника M 31. Результаты показывают, что наблюдаемое распределение звезд NGC 147 по металличностям воспроизводится путем слияния более чем одного фрагмента. Следовательно, маловероятно, чтобы системы, подобные NGC 147, выступали в роли фрагментов, из которых в дальнейшем формировались массивные галактики.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение получила теория иерархического скучивания (т. е. формирования) массивных галактик путем слияния менее массивных звездных систем. В теории химической эволюции галактик сценарий слияния выглядит следующим образом: предполагается, что звездное население протогалактики состоит из звезд, сформировавшихся в отдельных фрагментах до их слияния. Следовательно, наблюдаемое распределение звезд по металличностям (или функцию металличности) гало галактики можно выразить как сумму звезд разных металличностей из разных фрагментов. Таким образом были получены наборы фрагментов и соответствующие функции металличности для нашей Галактики, M 31 [1, 2] и M 33 [8]. Но возникает вопрос, какие объекты могли послужить “кирпичиками” для построения массивных галактик Местной группы? Предполагается, что такими объектами могли бы быть карликовые галактики-спутники массивных галактик. Процесс захвата массивными галактиками своих карликовых соседей наблюдается и в настоящее время [6].

СЦЕНАРИЙ СЛИЯНИЯ В ТЕОРИИ ХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГАЛАКТИК

Для теории химической эволюции галактик не имеет значения, будет ли рассматриваться аккреция карликовых галактик-сателлитов на массивное центральное тело или слияние множества фрагментов (на которые распалась первоначально единая газовая (прото)галактика) с массивным фрагментом (или группой фрагментов) в центре, если и фрагменты и сателлиты будут эволюционировать независимо от центрального тела (протодиска и балджа) до момента слияния с ним. Будем поэтому для простоты называть аккрецирующие/сливающиеся тела фрагментами.

Мы предполагаем, что звёздное население гало представляет собой смесь звёзд, которые образовались во фрагментах, первоначально эволюционировавших независимо от основного протогалактического облака и друг от друга. Следовательно, должен существовать такой набор фрагментов, смесь звездного населения которых позволит воспроизвести наблюдаемое распределение звёзд по металличностям (здесь и далее функция металличностей). Нашей целью является отыскание такого набора фрагментов для звёздного населения исследуемой галактики.

Фрагмент эволюционирует до определённого уровня астрации s ($s = 1 - \mu$, μ – доля массы газа во фрагменте, т. е. уровень астрации показывает какая часть газа во фрагменте перешла в звёзды) перед тем, как будет захвачен протогалактикой. Звёзды, образовавшиеся до этого момента, пополняют звёздное население гало, а газ оседает на диск. Звездообразование в разных фрагментах может начинаться в разное время. Некоторые фрагменты могут быть захвачены протогалактикой ещё до образования в них звёздного населения, т. е. захватываются чисто газовые фрагменты. Слияния между фрагментами не принимаются во внимание.

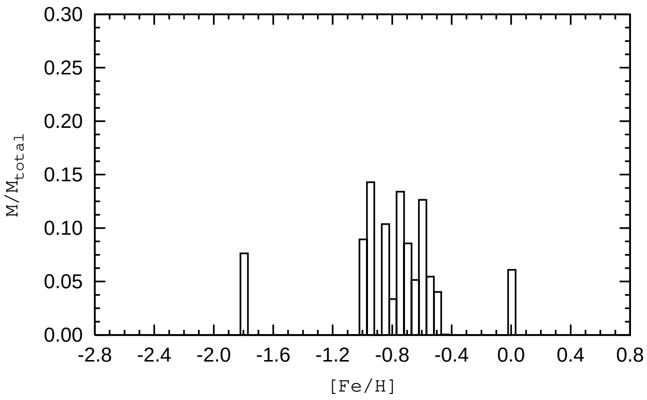

Рис. 1. Массы и металличности фрагментов, необходимых для того, чтобы воспроизвести наблюдаемую функцию металличности NGC 147

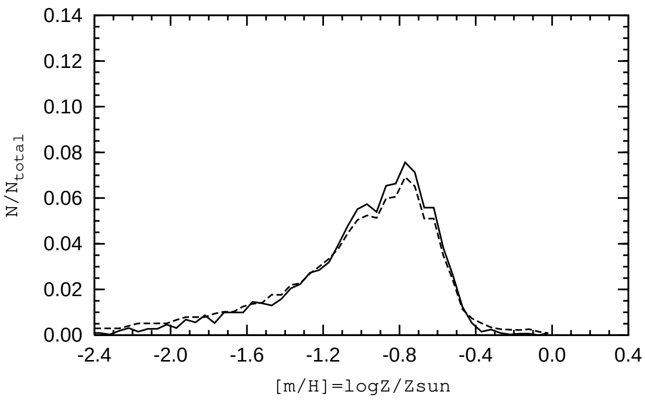

Рис. 2. Наблюдаемая (сплошная линия) и рассчитанная (прерывистая линия) функции металличности NGC 147. Данные были взяты из работы [5]

Рассмотрим химическую эволюцию фрагмента. Изменения со временем содержания обилия тяжёлых элементов, газа в межзвёздной среде, а также массы, заключённой в звёздных остатках, рассчитаны в рамках численной модели химической эволюции [3]. Используя наблюдательные данные, можно получить массы фрагментов, в которых образуется звёздное население гало. Для этого достаточно иметь теоретическую функцию металличности звезд фрагмента (отражающую его химическую эволюцию) и наблюдаемую функцию металличностей звезд исследуемого объекта. Теоретическая функция металличности фрагмента рассчитывается, исходя из уравнений численной модели химической эволюции.

Пусть a_j – число звёзд, попадающих в диапазон металличностей Z_j, $Z_j + \Delta Z$ во фрагменте массы m. Тогда наблюдаемое количество звёзд гало, попадающих в диапазон металличностей Z_j, $Z_j + \Delta Z$, будет представлять собой суммарное количество звёзд $N_{Z_j} = a_j \sum_{i=1}^{n} m_i$ данной металличности Z_j из всех фрагментов, максимальная металличность звёзд которых превышает Z_j. Для заданного набора металличностей имеем:

$$\begin{aligned} a_1 \cdot m_1 + a_1 \cdot m_2 + a_1 \cdot m_3 + \ldots + a_1 \cdot m_n &= N_{Z_1}, \\ a_2 \cdot m_2 + a_2 \cdot m_3 + \ldots + a_2 \cdot m_n &= N_{Z_2}, \\ \vdots \quad &\quad \vdots \\ a_n \cdot m_n &= N_{Z_n}. \end{aligned} \tag{1}$$

Фрагмент с самым высоким уровнем астрации s определяет число звезд с самым высоким значением металличности. Решив систему уравнений (1) можно рассчитать массы фрагментов с максимальными значениями металличностей от Z_1 до Z_n (т. е. число фрагментов, рассчитанное до данного значения Z_j и ответственное за появление звезд с соответствующей металличностью).

Таким образом, используя наблюдаемое распределение звезд по металличностям и наблюдаемую функцию металличности фрагмента до слияния, мы должны получить массы фрагментов эволюционировавших до соответствующего уровня астрации s. Используя полученные массы фрагментов в системе уравнений (1), мы можем получить "суммарную" функцию металличности и сравнить ее с наблюдаемой. Если карликовые галактики служили фрагментами для построения более массивных галактик, в нашем случае будет достаточно только одного фрагмента, чтобы воспроизвести наблюдаемую функцию металличности (что соответствовало бы монолитной эволюции).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Карликовая сфероидальная галактика NGC 147 – одна из трех хорошо изученных карликовых галактик-спутников массивной спиральной галактики M 31. Звездное население галактики NGC 147 имеет умеренную (даже скорее низкую) металличность, [Fe/H] от −2.2 до −0.8. со средним значением −1.2 [7].

Мы получили двенадцать фрагментов разных масс и металличностей из наблюдаемой функции металличности карликовой галактики NGC 147 – спутника галактики M 31. Набор фрагментов, показанный на рис. 1, позволяет достаточно хорошо воспроизвести наблюдаемую функцию металличности

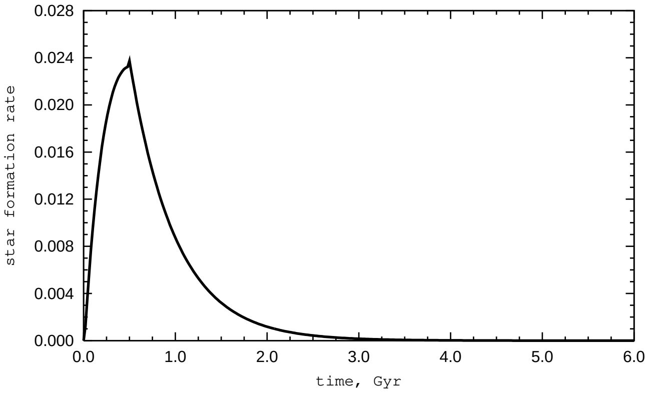

Рис. 3. История звездообразования во фрагменте в течение его эволюции

NGC 147 (рис. 2). Фрагменты до слияния испытывали влияние аккреции необогащенного газа; история звездообразования фрагмента показана на рис. 3. Аккреция газа на фрагмент менялась с течением времени; скорость оседания газа пропорциональна скорости звездообразования с коэффициентом пропорциональности 0.7.

Таким образом, карликовая галактика NGC 147 могла образоваться за счет слияния меньших фрагментов, т. к. критерий сходимости Холмогорова–Смирнова для наблюдаемой и рассчитанной функций металличности в данном случае составляет ~ 0.94. То, что мы получили двенадцать фрагментов вместо одного, как ожидалось, показывает, что карликовые галактики, подобные NGC 147, не могли служить "кирпичиками" для построения более массивных галактик. На возможность формирования NGC 147 путем слияния указывает также отсутствие градиента металличности в звездном населении галактики [4].

[1] *Никитюк Т. В.* Формирование звездного населения гало в эллиптических и спиральных галактиках // Кинематика и физика небес. тел. – 2003. – **19**, N 3. – С. 259–271.

[2] *Никитюк Т. В.* Формирование гало галактик M 31 и NGC 5128 путем слияния фрагментов // Кинематика и физика небес. тел. – 2004. – **20**, N 6. – С. 489–501.

[3] *Пилюгин Л. С.* Влияние галактического ветра на химическую эволюцию неправильных галактик. Численное моделирование и аналитическое описание // Астрон. журн. – 1994. – **71**, N 6. – С. 825–832.

[4] *Davidge T. J.* *V* and *I* photometry of bright giants in the central region of NGC 147 // Astron. J. – 1994. – **108**, N 6. – P. 2123–2127.

[5] *Han M., Hoessel J. G., Gallagher J. S., et al.* Stellar populations in the dwarf elliptical galaxy NGC 147 // Astron. J. – 1997. – **113**, N 3. – P. 1001–1010.

[6] *Ibata R. A., Gilmore G., Irwin M. J.* A dwarf satellite galaxy in Sagittarius // Nature. – 1994. – **370**, N 6486. – P. 194–196.

[7] *Mould J. R., Kristian J., Da Costa G. S.* Stellar populations in local group dwarf elliptical galaxies. I. NGC 147 // Astrophys. J. – 1983. – **270**, N 1. – P. 471–484.

[8] *Nykytyuk T. V.* The chemical evolution of the halo of the M33 galaxy // New Astron. – 2008. – **13**, N 5. – P. 340–347.