Результаты Проекта РФФИ 18-52-45008 в популярной форме.

"Изучение галактик войдов в близкой Вселенной: богатые газом карлики с экстремально низкой металличностью"

Вселенная сильно неоднородна и представлена 4-мя типами структур. Узлы - компактные сгущения материи с наибольшей плотностью. Филаменты - квазиодномерные структуры длиной от нескольких до десятков Мпк. Узлы - это пересечения 2-х или более филаментов. Стены или слои - квазидвумерные структуры промежуточных плотностей, "поверхности"с толщиной много меньше, чем их продольные размеры. Филаменты - это области пересечения стен. Наконец, пустоты или войды - это трехмерные структуры, в первом приближении эллипсоиды, с плотностью материи внутри в 5–10 раз ниже средней плотности Вселенной. Размеры войдов – от $\sim$10 до $\sim$100 Мпк. У войдов есть подструктура: внутри них можно выделить ячейки меньших размеров. Войды занимают более 3/4 объема Вселенной, но содержат лишь 15% ее массы.

Подавляющее число сегодняшних галактик образуется в ранней Вселенной, 10-13 млрд лет назад, из чисто газовых протогалактик, когда в них включается процесс образования звезд. Галактики демонстрируют огромное разнообразие по всем ключевым параметрам: полной массе, моменту вращения, связанной с ним морфологии, концентрации и связанной с ней поверхностой яркости, массовой доле газа, наличием в центре массивной черной дыры, окружением. Мы далее ограничиваемся дисковыми галактиками, для которых процесс эволюции еще продолжается.

Маломассивные галактики в пустотах представляют большой интерес, так как модели предсказывают для них замедленную эволюцию и отличия от галактик в более плотном окружении. Однако, из-за эффектов наблюдательной селекции, данные по таким галактикам пока очень фрагментарны.

Параметрами, отражающими эволюцию, являются содержание газа (точнее, его массовая доля по отношению к полной массе барионов) и металличность газа. Газ в галактиках по разным причинам может уплотняться, коллапсировать и формировать группировки звезд с диапазоном масс от $\sim$0.1 до $\sim$100 $M_\odot$. В процессе эволюции масса газа галактики уменьшается, а масса звезд растет. Достаточно массивные звезды быстро проходят свой жизненный цикл и выбрасывают в окружающий газ наработанные в термоядерных реакциях элементы тяжелее гелия, называемые в совокупности "металлы"(C,N,O,S и другие). Их относительная массовая доля называется металличность Z. Для Солнца $Z_\odot$ $\sim$0.02. С увеличением массовой доли звезд увеличивается и металличность газа. В процессе вековой эволюции, связанной со звездообразованием, галактики увеличивают металличность газа от очень малой (тысячная доля процента, как у самых старых видимых звезд) до порядка 2% в настоящую эпоху в массивных галактиках (таких как Млечный Путь). Темп эволюции зависит от массы галактики. В галактиках в сотни и тысячи раз менее массивных Z(gas) $\sim$(0.1-0.3) $Z_\odot$. Он также зависит от плотности окружения, так как взаимодействие галактик стимулирует усиление звездообразования.

50 лет назад на расстоянии $\sim$15 Мпк была найдена необычная галактика IZw18, с рекордно низкой металличностью $Z=Z_\odot/30$. Она богата газом и демонстрирует несколько молодых звездных скоплений с возрастами в миллионы лет. Более старое население изучено позднее с космическим телескопом HST. Основная масса звездного населения имеет возраст в пределах 1-2 млрд. лет. Такие галактики по своим свойствам ближе всего к молодым галактикам в ранней Вселенной. Но они находятся "почти за углом"и

их изучение намного доступнее. Отсюда – интерес к поиску и изучению других похожих галактик.

В процессе изучения галактик в близкой пустоте Lynx-Cancer, нами было открыто несколько галактик с $Z \sim Z_\odot/30$ и ниже. Эти галактики оказались исключительно богаты газом: (97-99)% от всей барионной массы, включая звезды. Интересно, что сама IZw18 находится в этой же пустоте. Еще несколько похожих объектов найдено в последние годы разными методами. Однако, было найдено только 8 достаточно близких таких галактик. Для изучения их групповых свойств этого мало. Нами была поставлена задача поиска в войдах таких очень редких галактик и их последующего исследования.

По предыдущему этапу поисков было ясно, что эти галактики в подавляющем большинстве имеют малые массы и низкие светимости ($M_B > -14$). Поэтому для их поиска среди галактик с известными красными смещениями из больших обзоров средней глубины ($B \sim 18 - 19$), необходимо было ограничиться нашими близкими окрестностями. Условно, расстояниями до 25 Мпк. Однако, в силу известных трудностей - наличием значительных пекулярных скоростей, большие структуры в этом объеме были почти не изучены.

Мы выполнили большой предварительный этап работы, определив границы 25 войдов и представив список 1350 галактик, попадающих в них. Далее, из 378 галактик с низкими светимостями, используя несколько критериев, мы отобрали 60 наилучших кандидатов для спектральных наблюдений на 2-х больших телескопах: 6-м БТА (САО) - для объектов на северном небе и 11-м SALT (Южная Африка) - в южной полусфере. За 3.5 года программу удалось завершить на 90%.

По результатам нашего отбора кандидатов и последующей их спектроскопии, мы нашли 11 новых объектов с металличностями $Z \sim Z_\odot/50$–$Z_\odot/30$. Таким образом, мы удвоили выборку таких необычных галактик войдов. Эти объекты являются наиболее вероятными кандидатами в так называемые "Очень Молодые Галактики"(Very Young Galaxies), очень редкие галактики в ближней Вселенной, предсказанные по результатам недавних модельных расчетов. Их определяют как галактики, сформировавшие большую часть звездной массы в течение последнего млрд. лет.

Межзвездный газ в этих галактиках является доминирующим компонентом барионной материи. Кроме того, его параметры могут быть определены на значительно более далеких расстояниях от центра галактики. Поэтому знание плотности и поля скоростей HI необходимо для изучения формирования, эволюции и звездообразования в таких объектах. С помощью индийского радиотелескопа GMRT, в линии HI 21 см, получены карты плотности и поля скоростей 17-ти галактик войдов с самыми низкими металличностями. Во всех галактиках, морфология и поле скоростей газа заметно возмущены, в том числе и для 6-ти изолированных карликов. Происхождение таких возмущений остается пока неясным: это может быть результатом поглощения малого спутника или аккреции межгалактического газа.

Для части самых низкометалличных галактик войдов получены цветовые индексы по изображениям в фильтрах ugri из открытых баз данных. В отличие от цветов большинства галактик войдов, для многих XMP галактик войдов цвета внешних частей являются голубыми. При сравнении с модельными эволюциоными треками, эти цвета указывают на возраст звездного населения от $\sim$1–4 млрд. лет. Таким образом, часть XMP галактик войдов может представлять собой Очень Молодые Галактики.