

АННОТИРОВАННЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ
О РЕЗУЛЬТАТАХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ, ВЫПОЛНЕННЫХ
НА ЭТАПЕ № 1

«Обоснование проводимого направления исследований. Проведение
наблюдений массивных звезд»

Соглашение от 24 августа 2012 года № 8416.

Тема: «Исследование массивных звезд в нашей Галактике и галактиках Местной группы.»

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

Ключевые слова: массивные звезды; галактики Местной группы

1. Цель проекта

1.1.Основной задачей проекта является исследование массивных звезд, находящихся на критических стадиях эволюции, в том числе и звезд перед вспышкой сверхновой. Получение надежных наблюдательных данных, определение фундаментальных параметров массивных звезд и сравнение с современными моделями атмосфер, ветров и моделями эволюции звезд позволит существенно уточнить сами модели и прояснить сценарии эволюции массивных звезд. Важной проблемой является выяснение общих закономерностей в магнетизме массивных звезд на разных стадиях эволюции и проведение анализа двойственности и кратности среди популяции массивных звезд.

1.2.Основная цель это проведение специального поиск массивных звезд в нашей Галактике и в галактиках Местной группы, а также молодых скоплений звезд. У выделенных звезд и скоплений необходимо надежно измерить фундаментальные параметры (массы, температуры, темп потери массы в ветре, светимости, возраста и др.). Надежный результат должен быть получен при адекватном и критическом сопоставлении данных современных наблюдений с результатами модельных расчетов звездной эволюции. Точные измерения параметров у репрезентативной выборки массивных звезд и сопоставление их с модельными треками вполне могут решить проблему эволюции массивных звезд.

2. Основные результаты проекта

2.1.Исследована связь между ULXs и молодыми скоплениями звезд, на примере галактик Антенны, NGC3256, NGC4485/4490. Обнаружено, что все ULXs располагаются в пределах 200 пк от скоплений звезд, возраст которых не более 5 млн лет. Были измерены возраста скоплений, их астрометрия, найдены вероятности случайной ассоциации. Вероятность случайной ассоциации ULXs со скоплениями крайне мала (0.0000001), она еще меньше для молодых скоплений звезд. Это позволило нам сделать выводы, что механизм вспышки Сверхновой не может быть основным в выбросе массивных звезд из скоплений, так как не хватает времени на эволюцию главной звезды пары плюс времени на транспортировку системы на наблюдаемое расстояние от скопления. Как отдача за счет нескомпенсированного орбитального момента ("эффект пращи"), так и "kick" в пересчете с масс нейтронных звезд на массы черных дыр не обеспечивают требуемой скорости выброса (в среднем 80 км/с). Выброс происходит в результате механизма 3х - 4х кратных столкновений звезд в центрах скоплений на самых начальных этапах сжатия скоплений.

Наш результат очень хорошо согласуется с современными идеями о формировании скоплений звезд, в которых выброс наиболее массивных звезд происходит в "сверхплотных" ядрах скоплений в первый миллион лет сжатия скопления.

Этот же механизм объясняет хорошо известную по нашей Галактике проблему массивных "звезд-бегунов". В нашей Галактике исследовать выброс звезд из скоплений очень трудно, так как угловые расстояния между потенциальными "бегунами" и скоплениями составляют десятки градусов. С учетом неопределенности расстояний и положения наблюдателя в плоскости Галактики эта проблема становится практически неразрешимой. Близкие галактики оптимальны для исследования ассоциации скоплений и рентгеновских источников, только по таким объектам можно было выполнить эту работу доказательно (доказать, что "runaway" звезды действительно выброшены из скоплений). Сделано заключение об отношении масс в системах ULX из соображений времени эволюции на ГП, особенностей эволюции в тесных парах и возраста скоплений, массы звезд должны быть примерно равными и составлять около 100 масс Солнца (не менее 70), возможный интервал отношения масс 0.5 — 1.0.

Построены распределения энергии у 9-ти близких ULXs. Эти объекты оказались очень яркими УФ источниками. Найдено, что эти распределения вполне могут быть описаны в модели сверхкритического диска SCAD Шакуры-Сюняева в рамках формализма радиуса сферизации, при этом массы черных дыр оцениваются как 10-40 масс Солнца, темпы аккреции в диапазоне 40-300 эддингтоновских. В случае ULXs в NGC6946 и в Holmberg II моделирование спектров их туманностей подтверждает, что эти объекты действительно ультра-яркие УФ источники. Наша модель SED для SCAD Шакуры-Сюняева требует доработки как со стороны рентгеновского диапазона (комptonизация), так и оптики (прогрев ветра жестким излучением, отражения в канале), однако, она уже в состоянии объяснить основные закономерности SED у ULXs.

Результаты детального анализа показали, что наиболее подходящими объектами для исследования эволюции звездных магнитных полей являются магнитные Вр-звезды. На основании наших наблюдений на 6м телескопе и литературных данных был составлен каталог массивных магнитных звезд. Возраста Вр-звезд находятся в широких пределах: от нескольких миллионов до сотен миллионов лет. Периоды вращения (как правило, от 1 до 20 суток) различаются значительно слабее по сравнению с Ар-звездами, поэтому эффекты эволюции можно отличить от эффектов, связанных с вращением. Менее массивные Ар-звезды эволюционируют на Главной последовательности существенно дольше, чем более массивные Вр-звезды и, тем самым, их хронологический возраст в среднем несомненно больше. Поэтому сравнение магнитных полей Ар и Вр-звезд может дать ценные сведения об эволюции магнитных полей при жизни звезды на ГП. Мы пришли к заключению, что наиболее сильными полями среди объектов Главной последовательности обладают массивные В-звезды с аномальным химическим составом.

Были выполнены спекл-интерферометрические измерения выборки 117 химически пекулярных звезд, обладающих глобальными магнитными полями. Наблюдения проведены на телескопе БТА с пространственным разрешением около 20 миллисекунд дуги в визуальной области спектра. На отдельные компоненты разделено 29 звезд, 14 из которых разрешены впервые. В 12-ти случаях спутник оказался на 2-4 звездных величины слабее главного компонента магнитной звезды. Исключение составляют молодые горячие Вр-звезды, спутники которых слабее примерно на 1 звездную величину. Во всех случаях расстояние от звезды до спутника в момент наблюдений в картинной плоскости превышает миллиард км. У 88-ми магнитных CP-звезд в наших наблюдениях вторичных компонент обнаружено не было. Таким образом, доля спекл-интерферометрических двойных в нашей выборке составляет 25%.

2.2. Все полученные на данном этапе результаты являются абсолютно новыми.

2.3. В современной астрофизике уделяется огромное внимание проблемам эволюции звезд, на подобные программы наблюдений массивных звезд выделяется время на самых крупных оптических телескопах мира, на космических рентгеновских и инфракрасных обсерваториях. Значительные силы в мире задействованы в создании моделей атмосфер, звездных ветров и моделей эволюции звезд. Наш коллектив сотрудничает с основными сильными группами мира, работающими в этой области, со многими мы находимся в деловом контакте. Единственный в России крупный оптический телескоп БТА, на котором работают члены коллектива, оснащен аппаратурой мирового уровня (она создавалась и тестировалась во многом в работах наших сотрудников), полностью адекватной поставленным задачам. Мы активно используем 6-метровый телескоп БТА, 8.2-метровые телескопы VLT (Чили) и 8.3-метровый телескоп Subaru (Гавайские острова). Проблема массивных звезд и их эволюции вполне может быть успешно решена методами наблюдений на крупнейших телескопах. Ее решение предполагает как точные и надежные измерения фундаментальных параметров звезд и скоплений звезд, выявление статистических закономерностей и связей между этими параметрами, так и поиск и исследование новых массивных звезд, находящихся на критических стадиях эволюции (типы LBV, WR, SS433, ULX).

3. Назначение и область применения результатов проекта

Все результаты представляют собой научную продукцию из области фундаментальных научных исследований. Они будут опубликованы в открытой печати и будут использованы российскими и зарубежными астрофизиками для продолжения развития этих областей физики и астрофизики. Объекты найденные в данном исследовании будут детально изучаться и наблюдаться на крупнейших оптических телескопах и рентгеновских обсерваториях другими группами астрофизиков. Рекомендации по улучшению теоретических моделей будут использованы в модельных расчетах группами, работающими в области физики звезд и галактик, в частности, в расчетах типа эволюционного синтеза. Результаты обеспечат дополнительный прогресс в создании современных приемников излучения, в оптимизации компьютерных программ по обработке данных наблюдений.

Результаты будут обязательно востребованы в основных российских институтах: ИКИ РАН, ИНАСАН РАН, ГАИШ МГУ, ФИАН, МФТИ, ИФП РАН САО РАН, ФТИ им. Иоффе РАН и других, войдут в курсы лекций и практических работ по астрофизике для студентов, они будут использованы при подготовке дипломных работ и диссертаций студентами и аспирантами астрономических учреждений и ведущих вузов России. Результаты исследований будут использоваться при подготовке учебно-методических материалов для студентов, проходящих практику в САО РАН. Привлечение аспирантов и студентов к выполнению НИР обеспечит приход и закрепление молодых кадров в науке.

4. Перспективы развития исследований

1) Участие в ФЦП дало мощный стимул и возможности для расширения существующих исследовательских партнерств и появлению новых в рамках тематики этого проекта. В исследовании черных дыр в двойных системах, ультраярких рентгеновских источников, развивается партнерство с университетами в Оулу (Финляндия), университетами в Киото (Япония), Потсдамским университетом (Германия) и с МГУ (ГАИШ). В исследовании звездного магнетизма международное сотрудничество чрезвычайно разнообразно, наиболее активно оно с ИНАСАН (Россия), с обсерваторией в Словакии, университетом в Уппсала (Швеция) и с Канадой (обсерватория Доминион). В изучении двойных и кратных звезд наиболее активно развивается сотрудничество с

центром астрофизики им. Н. Коперника в Варшаве, с С-Петербургским и Казанским университетами.

2) Современные модели и расчеты эволюции звезд предлагают вполне четкие схемы, однако, объекты, которые мы наблюдаем в близких галактиках и в нашей Галактике (массивные звезды Главной последовательности, яркие голубые переменные (LBV), WR-звезды, желтые и красные сверхгиганты, ярчайшие рентгеновские источники) далеко не всегда вписываются в эти схемы и вообще поражают многообразием свойств. Наблюдаемые проявления звезд верхней части диаграммы цвет-светимость не всегда не очевидны с точки зрения теории, иногда даже непонятны, поэтому в астрофизике сейчас нет единого мнения об эволюционных связях между разными типами массивных звезд. Наиболее актуальными сейчас представляются работы по связи между теорией эволюции массивных звезд (результатами модельных расчетов эволюционных треков) и наблюдательными фактами, такими как количество массивных звезд различных типов в галактиках разной металличности, их фундаментальные параметры и характеристики в зависимости от химического состава.

Мы развиваем проекты, в которых предполагается открытие новых массивных звезд на разных, в том числе на критических, стадиях эволюции, как в нашей Галактике, так и в ближайших галактиках Местной группы М33 и М31. Спектральные и фотометрические наблюдения этих объектов, а также поляриметрические и спекл-наблюдения репрезентативной выборки с применением новых методик очень востребованы, они позволяют определить основные параметры этих звезд. Сравнение полученных параметров, а также их распределений и взаимных зависимостей, позволяет выделить степень влияния начальных параметров при образовании звезд (химический состав, двойственность, намагниченность, вращение, масса) на появление сверхновых разных типов и характеристики релятивистских звезд в галактиках.

3) Наиболее перспективными центрами для сотрудничества нам представляется развитие отношений с университетом г Потсдам (Германия), так как в этом центре созданы программы для анализа атмосфер, ветров и спектров массивных звезд и университетом Киото (Япония), так как через последних мы получали наблюдательное время на крупнейшем в мире телескопе Субару (Гавайские острова). Сотрудничество с этим центром позволит очень эффективно измерять фундаментальные параметры звезд. В области магнитных измерений наиболее перспективным сотрудничеством представляется развитие отношений со Словацкой обсерваторией и университетов в г. Уппсала (Швеция). Очень важным нам представляется развитие сотрудничества с группой С-Петербургского университета (кафедра Астрофизики).

5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников проекта (этапа проекта) в области науки, образования и высоких технологий

Закреплены следующие специалисты:

Атапин Кирилл Евгеньевич, 10.09.1989 года рождения, зачислен в очную аспирантуру ГАИШ МГУ

Директор
САО РАН

Балега Ю.Ю.

Руководитель Проекта

Фабрика С.Н..

