

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоинтерферометрии

Тема ВСЕЛЕННАЯ. Исследования в области астрофизики высоких энергий, теоретической физики и наблюдательной космологии.

Гос. регистрация № 0120.0 602990

Научный руководитель академик Р.А. Сюняев

Раздел Астрофизика высоких энергий

Анализ степени неоднородности газа в космологических численных расчетах формирования скоплений галактик

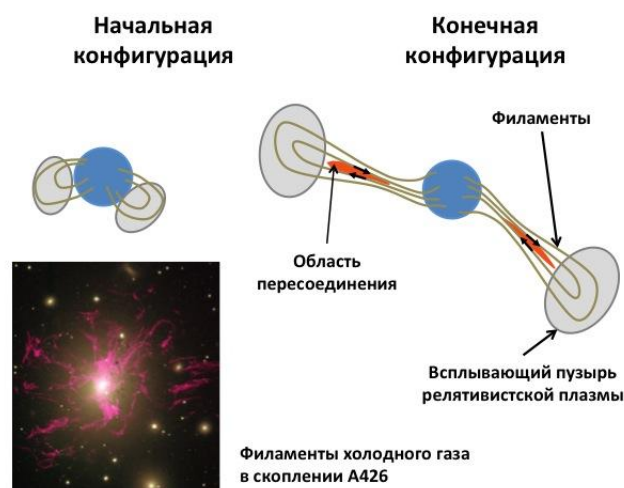


Рис.1 Иллюстрация модели образования филаментов холодного газа в скоплениях галактик (Чуразов и др., 2013). Всплывающие пузыри релятивистской плазмы увлекают холодный газ и формируют анти-параллельную конфигурацию поля. Пересоединение магнитных силовых линий может «концентрировать» энергию пузырей релятивистской плазмы в узкие хвосты (наподобие хвоста магнитосферы Земли).

Проведен анализ степени неоднородности газа в космологических численных расчетах формирования скоплений галактик. Важность тщательного анализа флуктуаций плотности связана с тем, что эта характеристика газа влияет на точность измерения масс скоплений и измерения космологических параметров. Показано, что амплитуда флуктуаций плотности газа мала вплоть до радиуса R_{500} , а далее быстро возрастает. Показано, что большая часть газа близка к состоянию гидростатического равновесия, а отклонения связаны с комками, занимающими малый объем скопления. Продемонстрировано, как сравнение рентгеновских и микроволновых данных позволяет определить свойства флуктуаций. Выполнен анализ обширного набора рентгеновских наблюдений скопления галактик Coma – обнаружены линейные структуры протяженностью в сотни кпк, позволяющие наложить ограничения на теплопроводность газа и уровень турбулентных движений. Сделаны предсказания

ожидаемого сигнала от турбулентных движений газа, ответственных за неоднородности газа, для новой японской рентгеновской обсерватории ASTRO-H (запуск в 2015 г.), несущей на борту криогенный рентгеновский болометр. Предложена модель образования филаментов холодного и плотного газа в ядрах скоплений галактик. Показано, что пересоединение магнитных силовых линий может «концентрировать» энергию пузырей релятивистской плазмы в узкие хвосты (наподобие хвоста магнитосферы Земли).

Чуразов Е.М.

1. Roediger, E., Kraft, R. P., Nulsen, P., Churazov, E., Forman, W., Brüggén, M., & Kokotanekova, R., "Viscous Kelvin-Helmholtz instabilities in highly ionized plasmas", 2013, MNRAS, 436, 1721
2. Churazov, E., Ruszkowski, M., & Schekochihin, A., "Powering of cool filaments in cluster cores by buoyant bubbles - I. Qualitative model", 2013, MNRAS, 436, 526
3. Zhuravleva, I., et al., "Resonant scattering in the Perseus Cluster: spectral model for constraining gas motions with Astro-H", 2013, MNRAS, 435, 3111
4. Gaspari, M., & Churazov, E., "Constraining turbulence and conduction in the hot ICM through density perturbations", 2013, A&A, 559, A78
5. Nulsen, P. E. J., et al., "Deep Chandra Observations of A2199: The Interplay between Merger-induced Gas Motions and Nuclear Outbursts in a Cool Core Cluster", 2013, ApJ, 775, 117

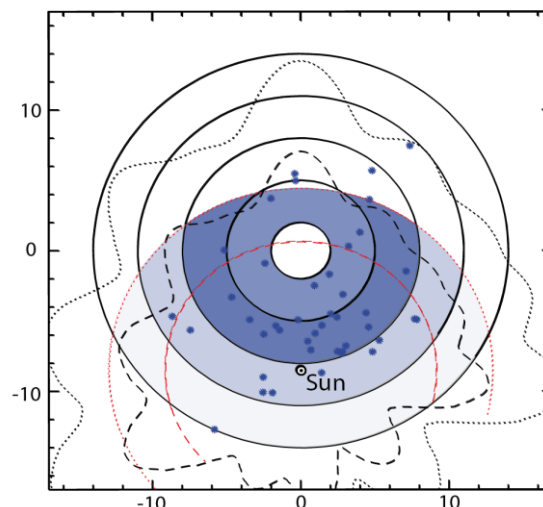
Массивные рентгеновские двойные системы в Галактике

В результате рекордно глубокого обзора области плоскости нашей Галактики обсерваторией ИНТЕГРАЛ стало возможным провести максимально однородный анализ популяции двойных систем с аккрецирующими компактными объектами и массивными звездами-компаньонами. Построена статистически полная и наиболее глубокая по потоку выборка постоянных НМХВс во всей Галактике. На основе построенной выборки исследовано пространственное распределение таких систем и их функция светимости. Измеренная плотность пространственного распределения массивных рентгеновских двойных систем в Галактике имеет максимум на галактоцентрических расстояниях 2-8 кпк и коррелирует с распределением поверхностной плотности темпа звездообразования в Галактике $N(\text{НМХВ})/\text{кпк}^2 \approx 5.5 \times 10^{-2} \text{ SFR}/\text{SFR}_\odot$, где SFR_\odot – поверхностная плотность темпа звездообразования вблизи Солнца. Вертикальное распределение НМХВс в Галактике имеет характерную высоту $h \approx 85$ пк, что несколько больше, чем характерная высота распределения молодых массивных звезд. Предложена модель, позволяющая объяснить наблюдаемые свойства постоянных массивных рентгеновских двойных систем с нейтронными звездами, аккрецирующими из ветра, – в частности, их распределение по светимостям (функцию светимости) и орбитальным периодам. В результате было показано, что функция светимости этих объектов может быть описана степенным законом с изломом вблизи светимости $\sim 10^{36}$ эрг/с. Используя полученную функцию светимости, были получены оценки числа НМХВс в будущих обзорах и показано, что с увеличением чувствительности относительное количество таких объектов будет значительно уменьшаться по сравнению с количеством регистрируемых активных ядер галактик и катаклизмических переменных. На основе предложенной модели показано, что свойства популяций постоянных массивных рентгеновских двойных систем и быстрых рентгеновских транзиентов в двойных системах со сверхгигантами (SFXTs) зависят от их положения на диаграмме ‘орбитальный период – светимость’, а наблюдательные проявления SFXTs связаны с блокировкой (скорее всего, магнитным полем) аккреции на нейтронную звезду.

Публикации:

Lutovinov A.A., Revnivtsev M.G., Tsygankov S.S., Krivonos R.A., «Population of persistent high-mass X-ray binaries in the Milky Way», MNRAS, 431, 327 (2013)

Рис. 2 Поверхностные плотности массивных двойных систем с аккрецирующими нейтронными звездами в нашей Галактике, определенные по результатам обзора неба обсерватории ИНТЕГРАЛ (показаны оттенками синего цвета). Черные пунктирная и штриховая кривые показывают области Галактики, внутри которых чувствительность обзора обсерватории ИНТЕГРАЛ позволяет регистрировать все источники со светимостями выше $\log L_x > 35.5$ и $\log L_x > 35$ эрг/сек соответственно. Красными окружностями показаны области с высокой полнотой отождествления обнаруженных источников, которые исследовались в данной работе.



Выметание звезд из галактик квазарами

Считается, что в ранние эпохи квазары могли выбрасывать большие массы газа за пределы своих родительских галактик и тем самым останавливать формирование галактик. С помощью численных расчетов показано, что в результате выделения энергии активными ядрами галактик (АЯГ) из галактик может выбрасываться не только газ, но и звезды. Процесс происходит следующим образом: 1) создаваемые АЯГ ветра ускоряют и сжимают заполняющий галактику газ, 2) ускоренные плотные слои газа становятся гравитационно неустойчивы, 3) формируются звезды с радиальными траекториями движения. Если масса центральной черной дыры превысит определенную долю от массы балджа галактики, то сформированные таким образом облака газа и звезды могут разогнаться до скоростей, позволяющих им покинуть галактику. Среди возможных следствий: перемешивание звезд балджа с остальными звездами галактики, возникновение движущихся с большими скоростями облаков газа и сверхновых второго типа в гало и за пределами галактик, вклад в реионизацию и обогащение металлами Вселенной, разрушение балджей и присутствие сверхмассивных черных дыр в безбалджевых галактиках.

Сазонов С., Сюняев Р.

Zubovas, K.; Nayakshin, S.; Sazonov, S.; Sunyaev, R. «Outflows of stars due to quasar feedback» *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 431, 793 (2013)*

Отождествление рентгеновских источников, открытых в обзорах неба обсерватории ИНТЕГРАЛ и SWIFT.

Орбитальные обсерватории ИНТЕГРАЛ и SWIFT, продолжают картографировать небо в рентгеновском диапазоне, формируя уникальный каталог источников, уже используемый в настоящее время для различных астрофизических задач. Увеличение полноты идентификации каталогов ИНТЕГРАЛа и SWIFT существенно поднимает их научную

ценность. В нашей группе в 2013 году продолжена работа по определению природы объектов, открытых в рентгеновских обзорах всего неба обсерваторий ИНТЕГРАЛ и SWIFT. Для этого был проведен ряд наблюдения оптических и инфракрасных телескопах РТТ150 (Российско-турецкий телескоп), АЗТ-3ЗИК (ИСЗФ СО РАН), ISRF (Южноафриканская астрономическая обсерватория). Среди изученных объектов оказались активные ядра галактик и двойные звездные системы с компактными объектами. Среди двойных систем обнаружены системы с массивными звездами-компаньонами, а так же представитель пока редкого класса симбиотических звезд с нейтронной звездой в качества звезды-аккретора.

Статьи:

М. Г. Ревнивцев, А. Князев, Д. И. Карасев, Л. Н. Бердников, С. Барвэй 2013, Письма в астрономический журнал, 39, 523 «Наблюдения в инфракрасном диапазоне восьми рентгеновских источников из обзоров плоскости галактики»,

А. А. Лутовинов, А. И. Миронов, Р. А. Буренин, М. Г. Ревнивцев, С. С. Цыганков, М. Н. Павлинский, И. В. Коробцев, М. В. Еселевич, 2013, Письма в астрономический журнал, 39, 580, «Отождествление четырех рентгеновских источников из каталогов обсерваторий Интеграл и SWIFT»

Излучение слоя растекания на поверхности аккрецирующих нейтронных звезд

Излучение поверхностей нейтронных звезд потенциально несет в себе информацию об их размерах, характеристике, важной не только для астрофизических задач, но и для вопросов фундаментальной физики, таких как поведение вещества в условиях сверхядерных плотностей. Несмотря на то, что к настоящему времени накоплен большой массив наблюдательных данных по спектрам излучения аккрецирующих нейтронных звезд, методы разделения спектральных компонент, связанных с излучением аккреционного диска и собственно поверхности нейтронной звезды, разнятся от работы к работе и по большей части модельно зависимы, следовательно не очень надежны. Недавняя вспышка рентгеновского транзита - нейтронной звезды в двойной системе ХТЕ J1701-462, позволила получить уникальный набор наблюдений, покрывающих рекордно большой диапазон светимостей нейтронной звезды, а так же излучение фотосферы нейтронной звезды во время всплесков нестационарного термоядерного горения. В ходе работ 2013 года был применен модельно независимый метод разделения спектральных компонент излучения аккрецирующей нейтронной звезды, разработанный ранее в статьях нашей группы, и продемонстрировано, что спектр излучения нейтронной звезды (а точнее - слоя растекания вещества на поверхности нейтронной звезды) практически не изменяется при изменении светимости поверхности нейтронной звезды более чем в 20 раз. Показано, что спектр излучения слоя растекания довольно широкий и не может быть описан аналитической моделью излучения абсолютно черного тела с одной температурой, что возможно из-за небольших вариаций значения температуры слоя растекания в разных точках поверхности нейтронной звезды. Измеренное значение максимальной цветовой температуры слоя растекания очень близко к температуре фотосферы нейтронной звезды прямо перед началом ее расширения, что указывает на то, что температура поверхности нейтронной звезды задается локальным равновесием давления излучения и гравитации. Стабильность цветовой температуры излучения слоя растекания находится в хорошем согласии с предсказаниями модели из работы Иногамова и Сюняева 1999. Полученные результаты дают основания сделать вывод,

что использование спектра слоя растекания является одним из наиболее перспективных методов для измерения размеров нейтронных звезд.

Статья:

Revnivtsev M.G., Suleimanov V.F., Poutanen J., 2013, MNRAS, 434, 2355
“On the spreading layer emission in luminous accreting neutron stars”

Широкополосный спектр полного рентгеновского излучения галактики M31

Получены результаты измерений полного потока рентгеновского излучения галактики Туманность Андромеды (M31) в диапазоне 3-100 кэВ по данным космических экспериментов RXTE/PCA, ИНТЕГРАЛ/ISGRI и SWIFT/BAT. Показано, что суммарное излучение галактики имеет многокомпонентный спектр, основные характеристики которого задаются двойными системами, излучающими в оптически толстом и оптически тонком режимах. Светимость галактики на энергиях 20-100 кэВ дает около 6% полной светимости галактики в диапазоне 3-100 кэВ. Излучательная способность звездного населения галактики M31 в диапазоне 2-20 кэВ $L(2-20 \text{ кэВ}) \sim 1.1e29$ эрг/сек/Мсол, в диапазоне 20-100 кэВ $\sim 8e27$ эрг/сек/Мсол. Отмечено, что ввиду того, что при высоких светимостях маломассивные рентгеновские двойные системы переходят в мягкое состояние с малой долей жесткого рентгеновского излучения, обнаружение индивидуальных источников жесткого рентгеновского излучения в галактике M31 требует в десятки раз лучшей чувствительности (до $1e-13$ эрг/сек/кв.см), чем нужно для обнаружения суммарного жесткого рентгеновского излучения всей галактики. Учет вклада жесткой компоненты спектра галактики изменяет эффективную комптоновскую температуру излучения галактики приблизительно в 2 раза, от ~ 1.1 кэВ до ~ 2.1 кэВ.

Статья:

М.Г.Ревнивцев, Р.А. Сюняев, Р.А. Кривонос, С.С.Цыганков, С.В.Мольков Письма в астрономический журнал, 2013, 40, 24 Широкополосный спектр полного рентгеновского излучения галактики M31

Долгомасштабная переменность рентгеновских двойных систем с гигантами поздних спектральных классов.

Предложен физический механизм, с помощью которого можно объяснить шум в темпе аккреции маломассивных рентгеновских двойных на временных масштабах, сравнимых с орбитальным периодом систем. Согласно стандартной модели в маломассивных двойных системах вещество оптического компаньона перетекает на компактный объект через внутреннюю точку Лагранжа с формированием аккреционного диска вокруг последнего. Тем не менее существуют маломассивные двойные системы, как правило системы с большим орбитальным периодом (> 18 часов), которые имеют оптические звезды-гиганты поздних спектральных классов. В таких системах перетекание вещества также может происходить за счет аккреции компактным объектом звездного ветра оптической звезды. С помощью численных расчетов показано, что в этом случае возмущения ветра орбитальным движением звезд (даже в случае орбитального движения с нулевым эксцентриситетом) и появление

неразвитого турбулентного движения вблизи компактного объекта приводят к формированию характерного времени переменности темпа аккреции, близкого к орбитальному периоду системы. Сделаны 3-х мерные расчеты с помощью двух независимых численных кодов, имеющих различные методы аппроксимации гидродинамических уравнений: численный код Gadget, считающий в Лагранжевых координатах, и численный код PLUTO, использующий Эйлера координаты.

Оценки показывают, что для того, чтобы темп аккреции из звездного ветра мог давать заметный вклад в наблюдаемый темп аккреции компактного объекта, темп истечения с оптической звезды должен быть порядка $0.5-1e-7$ Msun/год. Не смотря на то, что эта величина больше значения, получаемого из оценок для одиночных гигантов подобного типа, есть несколько теоретических и наблюдательных фактов для двойных систем, которые подтверждают наши оценки. Согласно проведенным исследованиям наблюдательные проявления такого звездного ветра несильно отличаются от наблюдательных проявления ветра/короны аккреционного диска.

Статья:

Filippova, E.; Revnivtsev, M.; Parkin, E. R. 2013, Monthly Notices of Royal Astronomical Society, принято к публикации (tmp.2548) Long time-scale variability of X-ray binaries with late-type giant companions

Определение физических параметров аккреционной колонки у магнитных белых карликов.

В 2013 году продолжены работы по определению физических параметров плазмы, выпадающей на поверхность магнитных белых карликов, на основе разработанного в нашей группе метода исследования замыкания аperiodической переменности их яркости. В ходе работ 2013 года исследовалась аperiodическая оптическая переменность системы LS Peg, являющейся одним из наиболее ярких промежуточных полярных на северном небе. Основное излучение горячей зоны, которое затем переизлучается в оптическом диапазоне, возникает в результате излучения оптически тонкой плазмы, нагретой в результате прохождения аккреционным потоком стоячей ударной волны. В недавней работе Семена и Ревнивцева (2012) было показано, что аperiodическая переменность - фликкер-шум - аккрецирующих замагниченных белых карликов должна иметь характерную особенность в области фурье-частот, соответствующих времени остывания плазмы в этой горячей области. Фотометрические измерения яркости LS Peg, проведенные на телескопе РТТ150 при помощи высокоскоростной ПЗС матрицы ANDOR iXon, позволили получить ограничения на частоту излома в спектре мощности переменности источника.

Получены ограничения на геометрию аккреционной колонки у белого карлика в системе LS Peg и на параметры плазмы в ней.

Статья:

Семена А.Н. Ревнивцев М.Г., Хаммитов И.В., Р.А.Буренин, Ак.Т., Екер З. 2013, Письма в астрономический журнал, 39, 227 «Ограничения на параметры аккреционной колонки промежуточного полярного LS Pegasi по спектру мощности оптической кривой блеска».

Наблюдательные исследования активных процессов в Галактике, галактиках и скоплениях галактик Скопления галактик

Продолжены работы по оптическому отождествлению скоплений галактик, обнаруженных по измерениям эффекта Сюняева-Зельдовича в обзоре всего неба космической обсерватории им. Планка. В течение последних двух лет на наблюдения по этой программе на телескопе РТТ150 было выделено более 100 темных и серых ночей, что составляет около 25% всего темного и серого времени за указанный период. Заметный объем наблюдений далеких скоплений был выполнен также на 6-м телескопе САО РАН (БТА). В результате, наблюдения на РТТ150 и БТА позволяют обеспечить существенную часть (около четверти) всех наблюдений по программе оптической поддержки обзора Планка. (рис. 3, Буренин, Гильфанов, Чуразов, Сюняев, Сотрудничество Планка 2013).



рис. 3, Наблюдения скоплений в рамках оптической поддержки обзора спутника Планк, с помощью телескопа РТТ-150

Буренин, Гильфанов, Чуразов, Сюняев, Сотрудничество Планка 2013.

Получены ограничения суммарной массы и эффективное число видов нейтрино по данным по анизотропии реликтового излучения, измерений постоянной Хаббла, наблюдений барионных акустических осцилляций, а также по данным измерений функции масс скоплений галактик. Показано, что рассогласования, которые имеются между различными наборами космологических данных при измерении постоянной Хаббла и амплитуды флуктуаций плотности в рамках модели Λ CDM, могут быть устранены путем добавления в космологическую модель дополнительных видов и ненулевой суммарной массы нейтрино. Значимость добавления двух параметров, Σm_ν и N_{eff} , в космологическую модель соответствует уровню около 3σ . Наилучшим образом данные описываются моделью Λ CDM, в которой имеется примерно один дополнительный вид нейтрино, $N_{\text{eff}} \approx 4$, при суммарной массе нейтрино $\Sigma m_\nu \approx 0.5$ эВ. (Буренин, 2013)

Наблюдательные исследования активных процессов в Галактике, галактиках и скоплениях галактик. Неоднородная плазма в скоплениях галактик.

Выполнен цикл работ, в которых обсуждаются природа неоднородностей в горячей плазме скоплений галактик.

В двух работах анализируются свойства неоднородности газа в космологических численных расчетах формирования скоплений галактик. Важность тщательного анализа флуктуаций плотности связана с тем, что эта характеристика газа влияет на точность измерения масс скоплений и измерения космологических параметров. Показано, что амплитуда флуктуаций плотности газа мала вплоть до радиуса R_{500} , а далее быстро возрастает. Показано, что большая часть газа близка к состоянию гидростатического равновесия, а отклонения связаны с комками, занимающими малый объем скопления. Продемонстрировано, как сравнение рентгеновских и микроволновых данных позволяет определить свойства флуктуаций. Выполнен анализ обширного набора рентгеновских наблюдений скопления галактик Волосы Вероники – обнаружены линейные структуры протяженностью в сотни кпк, позволяющие наложить ограничения на теплопроводность газа и уровень турбулентных движений. Сделаны предсказания ожидаемого сигнала от турбулентных движений газа, ответственных за неоднородности газа, для новой японской рентгеновской обсерватории ASTRO-H (запуск в 2015 г.), несущей на борту криогенный рентгеновский болометр. Предложена модель образования филаментов холодного и плотного газа в ядрах скоплений галактик. Показано, что пересоединение магнитных силовых линий может «концентрировать» энергию пузырей релятивистской плазмы в узкие хвосты, наподобие хвоста магнитосферы Земли. (Чуразов и др., 2013)

Результаты представлены в статьях

1. Planck Collaboration, “Planck intermediate results. X. Physics of the hot gas in the Coma cluster”, *A&A*, 554, A140 (2013)
2. Planck Collaboration, «Planck intermediate results. VIII. Filaments between interacting clusters», *Astronomy & Astrophysics*, 550, A134 (2013)
3. Planck Collaboration, «Planck intermediate results. VI. The dynamical structure of PLCKG214.6+37.0, a Planck discovered triple system of galaxy clusters», *Astronomy & Astrophysics*, 550, A132 (2013)
4. Planck Collaboration, «Planck intermediate results. V. Pressure profiles of galaxy clusters from the Sunyaev-Zeldovich effect», *Astronomy & Astrophysics*, 550, A131 (2013)
5. Planck Collaboration, «Planck intermediate results. III. The relation between galaxy cluster mass and Sunyaev-Zeldovich signal», *Astronomy & Astrophysics*, 550, A129
6. Planck Collaboration, «Planck intermediate results. II. Comparison of Sunyaev-Zeldovich measurements from Planck and from the Arcminute Microkelvin Imager for 11 galaxy clusters», *Astronomy & Astrophysics*, 550, A128 (2013)
7. Р. А. Буренин, «возможное указание на наличие ненулевой массы и дополнительных видов нейтрино по данным космологических измерений», *Письма в АЖ*, 39, 6, 403 (2013)
8. Churazov, E., Ruszkowski, M., & Schekochihin, A., Powering of cool filaments in cluster cores by buoyant bubbles. I. Qualitative model, 2013, *MNRAS*, in press

9. Khedekar, S., Churazov, E., Kravtsov, A., Zhuravleva, I., Lau, E. T., Nagai, D., Sunyaev, R., Bias from gas inhomogeneities in the pressure profiles as measured from X-ray and Sunyaev-Zeldovich observations, 2013, MNRAS, 431, 954
10. Zhuravleva, I., Churazov, E., Kravtsov, A., Lau, E. T., Nagai, D., & Sunyaev, R., Quantifying properties of ICM inhomogeneities, 2013, MNRAS, 428, 3274
11. Zhuravleva, I., Churazov, E., Sunyaev, R., Sazonov, S., Allen, S. W., Werner, N., Simionescu, A., Konami, S., Ohashi, T, Resonant scattering in the Perseus Cluster: spectral model for constraining gas motions with Astro-H, 2013, MNRAS, in press
12. Sanders, J. S., Fabian, A. C., Churazov, E., Schekochihin, A. A., Simionescu, A., Walker, S. A., & Werner, N., Linear Structures in the Core of the Coma Cluster of Galaxies, 2013, Science, 341, 1365
13. Gaspari, M., Churazov, E. 2013. Constraining turbulence and conduction in the hot ICM through density perturbations. Astronomy and Astrophysics 559, A78.
14. Z.Zhang, M.Gilfanov, & A.Bogdan, 2013 Low-mass X-ray binary populations in galaxy outskirts: Globular clusters and supernova kicks A&A, 556, A9
15. T.Woods & M.Gilfanov, 2013 He II recombination lines as a test of the nature of SN Ia progenitors in elliptical galaxies MNRAS, 432, 1640
16. F.Koliopanos, M.Gilfanov, & L.Bildsten, 2013 X-ray diagnostics of chemical composition of the accretion disc and donor star in ultra-compact X-ray binaries MNRAS, 432, 1264
17. G.Huetsi, M.Gilfanov, & R.Sunyaev, 2013 Linking X-ray AGN with dark matter halos: a model compatible with AGN luminosity function and large-scale clustering properties MNRAS in press, arXiv:1304.3717
18. S.Mineo, M.Gilfanov, B.Lehmer, B.Morrison, & R.Sunyaev, 2013 X-ray emission from star-forming galaxies - III. Calibration of the Lx-SFR relation up to redshift $z \sim 1.3$ MNRAS in press, arXiv:1207.2157

Популяции рентгеновских двойных во внешних галактиках.

Продолжено исследование различных свойств популяций рентгеновских двойных во внешних галактиках на основе данных наблюдений орбитальных обсерваторий Chandra, Galex и Spitzer и наземных наблюдений в ближнем ИК диапазоне. Впервые продемонстрировано, что маломассивные рентгеновские двойные имеют более широкое распределение, чем звезды, образуя протяженные гало компактных источников вокруг галактик, населенные аккрецирующими нейтронными звездами и простирающиеся до ~ 10 эффективных радиусов. В то же время распределение черных дыр хорошо следует распределению звезд. Такое поведение связано с начальным импульсом, получаемым компактным объектом при рождении и с вкладом источников в шаровых скоплениях.

По данным наблюдений звездообразующих галактик в локальной Вселенной и в сверхглубоких обзорах обсерватории Chandra откалибровано соотношение между полной рентгеновской светимостью галактики и ее темпом звездообразования в широком диапазоне темпов звездообразования (до $10^3 M_{\odot}/\text{год}$) и красных смещений (до $z \sim 1.4$). Исследована популяция ультраярких источников в паре взаимодействующих галактик NGC 2207/IC 2163. Эта пара характеризуется наиболее высоким значением плотности ультраярких источников на единицу массы среди исследованных галактик в локальной Вселенной. Показано, что пространственное распределение источников (но не их светимость) хорошо коррелирует с

плотностью темпа звездообразования, определенной по данным наблюдений в УФ и ближнем ИК диапазонах со спутников Galex и Spitzer.

Предложен метод диагностики природы белого карлика (гелиевый или углеродно-кислородный) в ультракомпактных рентгеновских двойных методами рентгеновской спектроскопии, по спектру отраженной компоненты

1. М.Р.Гильфанов Рентгеновские двойные и звездообразование Успехи Физических Наук, 2013, 7, 752
2. Z.Zhang, M.Gilfanov, A.Bogdan Low-mass X-ray binary populations in galaxy outskirts: Globular clusters and supernova kicks. Astronomy & Astrophysics, 2013, 556, 9
3. S.Mineo, S.Rapaport, B.Steinhorn, A.Levine, M.Gilfanov, D.Pooley Spatially resolved star formation image and the ultraluminous x-ray source population in NGC 2207/IC 2163. Astrophysical Journal, 2013, 771, 133
4. S.Mineo, M.Gilfanov, B.Lehmer, G.E.Morrison, R.Sunyaev X-ray emission from star-forming galaxies - III. Calibration of the L_X -SFR relation up to redshift $z \approx 1.3$ MNRAS, 2013, in press
5. F.Koliopanos, M.Gilfanov, L.Bildsten X-ray diagnostics of chemical composition of the accretion disk and donor star in ultra-compact X-ray binaries MNRAS, 2013, 432, 1264

Активные ядра галактик и квазары в обзоре всего неба обсерваторией Спектр-РГ: рост сверхмассивных черных дыр и крупномасштабная структура Вселенной.

Основным элементом наблюдательной программы обсерватории Спектр-Рентген-Гамма станет обзор всего неба продолжительностью 4 года. В ходе обзора на внегалактическом небе будут задетектированы 3 млн. активных ядер галактик (АЯГ) и квазаров. Медианные значения их светимости и красного смещения составят $\log(L_X)=44$ и $z=1$; будут обнаружены от $\sim 2,000$ до $\sim 30,000$ объектов на красных смещениях $z>4$, в зависимости от точного поведения их функции светимости в этом плохо исследованном интервале красных смещений. Беспрецедентная по своему объему и полноте выборка активных ядер галактик, дополненная информацией об их красных смещениях, позволит детально исследовать поведение рентгеновской функции светимости АЯГ и рост сверхмассивных черных дыр в широком интервале красных смещений и светимостей. Она также откроет уникальные возможности для исследования проявлений крупномасштабной структуры Вселенной в распределении АЯГ. Измерение флуктуаций плотности АЯГ в разных интервалах светимостей и красных смещений позволит провести прямое сравнение с разными типами галактик и оптическими квазарами. Такие измерения позволят детально исследовать окружение АЯГ, механизмы их включения, циклы их активности и совместную эволюцию с родительскими галактиками и гало темной материи. Барионные акустические осцилляции в пространственном распределении АЯГ могут быть задетектированы со статистической значимостью более 10 стандартных отклонений, что может сделать выборку АЯГ обзора СРГ мощным инструментом для космологических измерений.

1. A.Kolodzig, M.Gilfanov, R.Sunyaev, S.Sazonov, M.Brusa AGN and QSOs in the eROSITA All-Sky Survey. Part I: Statistical properties. Astronomy and Astrophysics, 2013, 558, 89K
2. A.Kolodzig, M.Gilfanov, G.Huetsi, R.Sunyaev AGN and QSOs in the eROSITA All-Sky Survey. Part II: The large-scale structure. Astronomy and Astrophysics, 2013, 558, 90K

Происхождение сверхновых типа Ia

Предложен метод диагностики популяции аккрецирующих белых карликов по линейчатому излучению слабоионизованного газа в галактиках. Продемонстрировано, что вклад излучения горячих белых карликов может привести к появлению рекомбинационной линии He II 4686A в спектрах пассивно эволюционирующих галактик. Это открывает перспективы для диагностики природы предшественников Сверхновых типа Ia.

1. T.Woods and M.Gilfanov He II recombination lines as a test of the nature of SN Ia progenitors in elliptical galaxies MNRAS, 2013, 432, 1640

Перспективы обнаружения послесвечений космических гамма-всплесков и вспышек излучения после приливного разрушения звезд СМЧД в центрах галактик обсерваторией СРГ

Стратегия проведения обзора СРГ предполагает полное покрытие неба за 180 дней, при этом каждой точке небесной сферы соответствует 6 проходов через поле зрения телескопа длительностью примерно 40 секунд с интервалом в 4 часа. Т.о., существует возможность исследования временных характеристик ярких переменных рентгеновских источников. Одними из таких источников являются рентгеновские послесвечения космических гамма-всплесков, для которых типично степенное спадание интенсивности излучения со временем после всплеска на масштабах порядка дня. Объективная статистическая информация о частоте появления послесвечений на небе могла бы существенно улучшить наше понимание физических процессов, связанных с гамма-всплесками. Стратегия обзора также предполагает 8 последовательных снимков всего неба в течении 4 лет. Сравнение последовательных снимков позволит выделить источники со значительным изменением яркости на временах порядка одного года. Степенное спадание светимости на таких временных масштабах является одной из отличительных особенностей вспышек, возникающих в центрах галактик в результате приливного разрушения звезд гравитационным полем СМЧД. Мягкое рентгеновское и ультрафиолетовое излучение формируется в аккреционном диске, образующемся вокруг черной дыры из захваченного вещества разрушенной звезды. Обнаружение большого количества таких событий позволит получить уникальную информацию о СМЧД не только в центрах относительно близких неактивных галактик, но и галактик на больших красных смещениях (в случае джета, направленного в сторону наблюдателя).

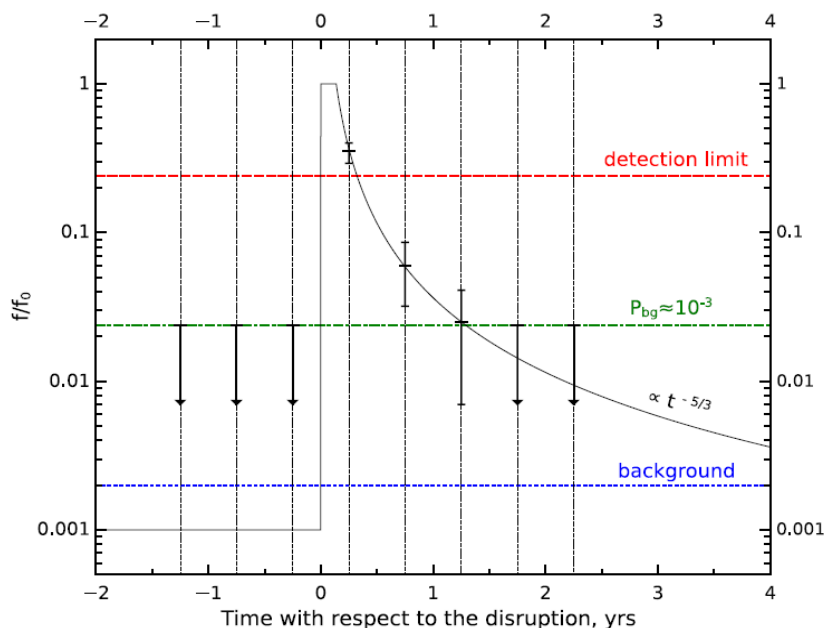


Рис 4. Схематическое изображение кривой блеска и наблюдения вспышки излучения после приливного разрушения звезды СМЧД рентгеновским телескопом eROSITA. Источник попадает в поле зрения прибора с периодом 6 месяцев, как показано вертикальными линиями. Средний уровень фона показана синей пунктирной линией. Зеленая штрих-пунктирная линия показывает уровень числа отсчетов, который может быть произведен фоном с вероятностью 0.001. Число отсчетов от источника-кандидата должен превосходить этот уровень более чем в 10 раз (показано красной штриховой линией) в хотя бы одном из последовательных снимков.

Публикации

1) Khabibullin, I.; Sazonov, S.; Sunyaev, R., SRG/eROSITA prospects for the detection of GRB afterglows; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 426, Issue 3, pp. 1819-1828,

2) Khabibullin, I.; Sazonov, S.; Sunyaev, R., SRG/eROSITA prospects for the detection of stellar tidal disruption flares ; 2013, MNRAS, 2549

Феномен сверхкритической аккреции.

Обнаружены новые компоненты в профилях стационарных эмиссий SS433, это сверхширокие компоненты, которые представляют собой низкоконтрастные подложки шириной 2000-2500 км/с у He I $\lambda 4922$ и H β и 4000-5000 км/с у He II $\lambda 4686$. По 44 спектрам, полученным в течение 4 лет наблюдений с 2003 по 2007 г., найдено, что эти компоненты у линий He II и He I затмеваются звездой-донором, их поведение с фазами прецессии и орбиты регулярно и подобно поведению оптического блеска SS433. Такой же компонент в линии H β не показывает ни затмений, ни прецессионной переменности. Мы делаем вывод, что сверхширокие компоненты у линий гелия и водорода имеют разное происхождение. Мы находим, что электронное рассеяние вполне воспроизводит сверхширокий компонент линии H β при температуре газа 20-35 кК и оптической толщине по томсоновскому рассеянию $\tau \approx 0.25 - 0.35$. Сверхширокие компоненты линий гелия, вероятно, формируются в ветре сверхкритического аккреционного диска. Мы рассчитываем модель ветра на основе представления сверхкритической дисковой аккреции Шакуры-Сюняева. Основные закономерности профилей линии He II хорошо воспроизводятся в рамках этой модели. Мы можем объяснить не только появление сверхширокого компонента, но и эволюцию центральной двухкомпонентной части профиля этой линии во время затмения ее звездой-донором.

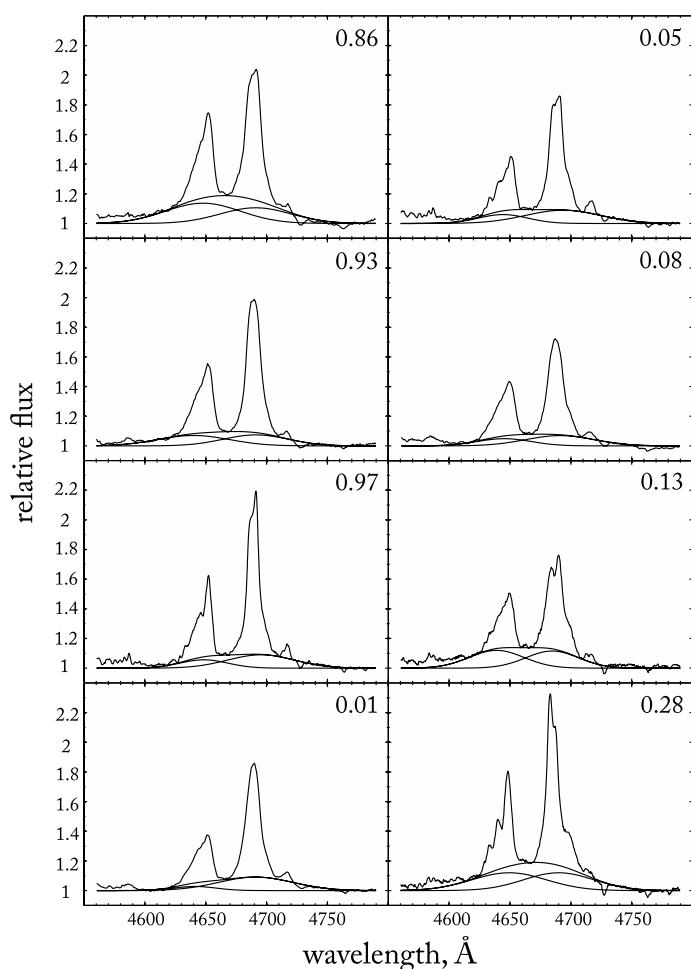


Рисунок 5. Профили линий He II и C III/N III с выделенными сверхширокими компонентами (две функции Гаусса и их сумма) по спектрам 2007 г., полученным на БТА и Subaru. На спектрах показаны орбитальные фазы. В спектрах БТА (фазы 0.86, 0.93, 0.01, 0.08) спектральное разрешение заметно ниже, чем в спектрах Subaru.

Статья:

П. С. Медведев, С. Н. Фабрика, В. В. Васильев, В. П. Горанский, Е. А. Барсукова
«Сверхширокий компонент в профилях эмиссионных линий системы SS433»

Письма в астрономический журнал, 2013, том 39, №12, с. 826–843

Раздел Радиоинтерферометр

1. «Исследования структуры астрофизических объектов - кинематики джетов»

Исследования были сосредоточены на объектах с активными ядрами 3C 345, M 87 и 1803+784.

1.1. *Квазар 3C 345.* Определена и исследована сверхтонкая структура объекта со сверхвысоким угловым разрешением до 20 мксек. дуги, за период 1998-2001 гг. на волнах 7 мм и 2 см, состоящая из диска и биполярного потока, рис.1. Установлена прямая связь кинематики объекта с системой типа антицентрифуги. Окружающая среда - тепловая плазма падает на диск, перетекает по спирали к центру оси вращения и по мере накопления избыточного углового момента эжектируется в виде: вращающегося биполярного потока:

джета и контрджета. Остаток выпадает на формирующееся центральное тело – черную дыру.

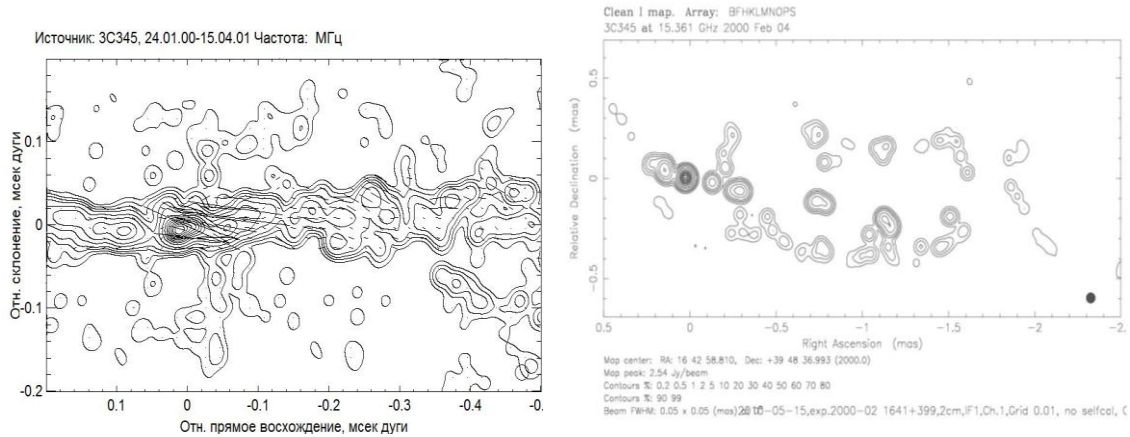


Рис. 1 Структура квазара 3С 345: биполярный поток и диск, $\lambda=7$ мм - слева и $\lambda=2$ см – справа. Эжекция низкоскоростного потока происходит из удаленной части диска, а высокоскоростного из центральной.

Эжекция низкоскоростных потоков происходит на расстояниях 2.2 пк и 1.0 пк. Центральный высокоскоростного поток, диаметром 0.2 пк эжектируется со скоростью $v \leq 0.06c$. Поток ускоряется и на расстоянии около 1 пк его видимая скорость достигает $\sim 8c$. Поток движется с этой скоростью на расстоянии до 2 пк, после чего наблюдается замедление, рис. 2. Взаимодействие вращающегося потока с окружающей средой определяет его коллимацию и ускорение. В электропроводящей среде вращающегося потока возбуждаются токи, которые сжимаются в кольца. Тангенциальные направления колец наблюдаются в виде двух параллельных цепочек, рис. 2. Кольцевые токи эквивалентны соленоиду, магнитное поле которого направлено вдоль оси, вдоль биполярного потока. Магнитные поля диска и биполярных потоков соосны. При этом движение джета параллельно, а контр джета антипараллельно магнитному полю, что определяет дополнительное ускорение джета и торможение контрджета. Ускорение джета определяет синхротронное «послесвечение» излучения релятивистских электронов на больших расстояниях, рис.2. Видимые сверхсветовые движения фрагментов джета наиболее вероятно определяются рефракцией в окружающей тепловой плазме [1, 2].

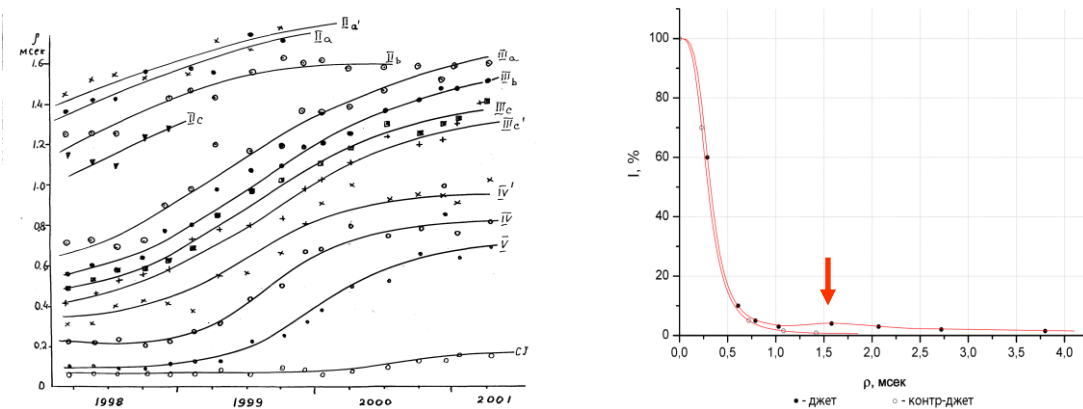


Рис. 2. Кинематика вкраплений фрагментов джета - слева. Спад яркости потока джета и контр джета. В удаленной части джета наблюдается «послесвечение» - показано стрелкой.

1.2. Радиогалактика М 87. Исследована структура радиогалактики М 87 в поляризованном излучении на волнах 3 и 6 см с угловым разрешением, равным 0.1 мсек. дуги. Определено изменение ориентации поляризации вдоль высокоскоростного биполярного потока, которое соответствует экспоненциальному спаду меры вращения RM. Смещение максимума RM в сторону джета определяется наклоном аккреционного диска. В областях расположения ярких фрагментов биполярного потока наблюдается повышение меры вращения на $\Delta RM \sim 10^3$

рад/м², что определяется повышенным значением магнитного поля. Материалы подготавливаются к публикации.

1.3. *Единство многоликости.* Исследования тонкой структуры ряда астрономических объектов, на первый взгляд совершенно разной природы, установили единство их кинематики - вихревую природу их происхождения - антицентрифуга. Движение вещества приводит к образованию вихря, перетеканию его по рукавам к центру. Возникающий избыток углового момента уносится по мере накопления биполярным потоком в направлении оси вращения, что определяет твердотельное вращение центральной части. Остаток вещества выпадает на формирующееся центральное тело, гравитационное поле которого ускоряет процесс и стабилизирует систему. Это единый процесс и относится как к галактикам, например, 3С 345, М87, 1803+784, NGC 4258, наша Галактика, рис. 1, 2 и 3, так и к начальной фазе формирования звезд, например, Орион КЛ, аналогичная структура наблюдается и у наземных вихрей – торнадо, рис. 4.

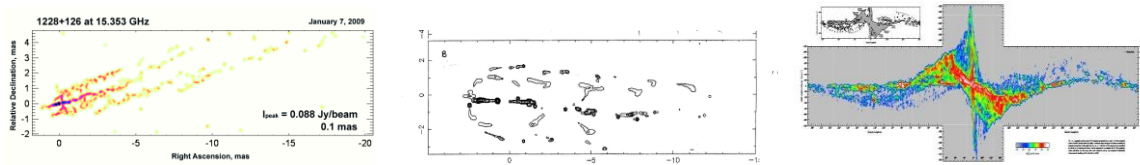


Рис.3. Радиогалактика М 87 и объект 1803+784, высокоскоростной центральный поток окружен цепочками компонент - низкоскоростными потоками – слева и в центре. В Галактике наблюдается кеплеровское движение внешней части и твердотельное вращение центральной части с биполярным истечением вещества – справа.

Наши исследования показали, что структура столь различных объектов, их кинематика соответствуют антицентрифуге. Образование объектов – результат движения вещества, возникновения вихря, эжекции биполярного потока и формирование центрального массивного тела звезды или черной дыры. Коллимация и ускорение эжектируемого биполярного потока определяется взаимодействием с окружающей средой. Гравитационное поле центрального тела стабилизирует систему и ускоряет процесс формирования. В случае торнадо центральное тело не успевает сформироваться и структура распадается. Односторонность джетов в галактиках с активными ядрами определяется электропроводимостью среды – плазмы. Во вращающемся потоке возбуждаются кольцевые токи - соленоид и продольное магнитное поле, которые в свою очередь стабилизируют и ускоряют процессы формирования объекта. Получены модельные решения этих явлений, [2].

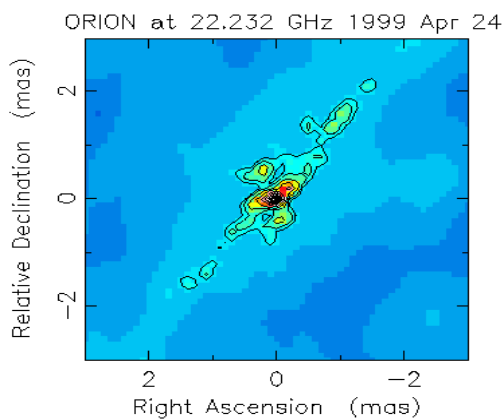


Рис. 4. Область формирования звезды в Орионе КЛ: диск и биполярный поток – слева. Смерч в бухте Ласпи 2013: центральный высокоскоростной поток окружен низкоскоростными показан справа.

2. Ввод в действие системы «КВАЗАР-КВО».

С включением системы «КВАЗАР-КВО» в европейскую РСДБ сеть было принято решение о совместной ИПА-ИКИ (Лаборатория РСДБ) модернизации системы для проведения регулярных исследований источников космического радиоизлучения. Реализация программы будет способствовать и повышению качества измерений по основной программе – координатно-временному обеспечению (системе Глонасс). В истекшем году завершены испытания системы на волне 18 см и начаты регулярные наблюдения источника мазерного излучения W3 OH, а также в континууме импульсного излучения пульсара Крабовидной туманности.

2.1. Газопылевые комплексы OH мазерного излучения. Впервые на отечественной РСДБ системе проведены исследования спектры объекта W3 OH в правой и левой круговых поляризациях в автономном и радиоинтерферометрическом режимах. Корреляционная обработка данных проводилась в ИПА, вторичная в ИКИ. Получены карты газопылевого комплекса W3 OH в правой и левой круговых поляризациях, рис. 5. Выделено фоновое излучение, усиленное в основной линии гидроксила. Обнаружены активные структуры соответствующие вихрям и джетам – начальной фазе формирования звезд. Проведено отождествление источников в правой и левой круговой поляризации, определено зимановское расщепление линий, соответствующие уровням магнитного поля, достигающего 7.6 мГс [4-6].

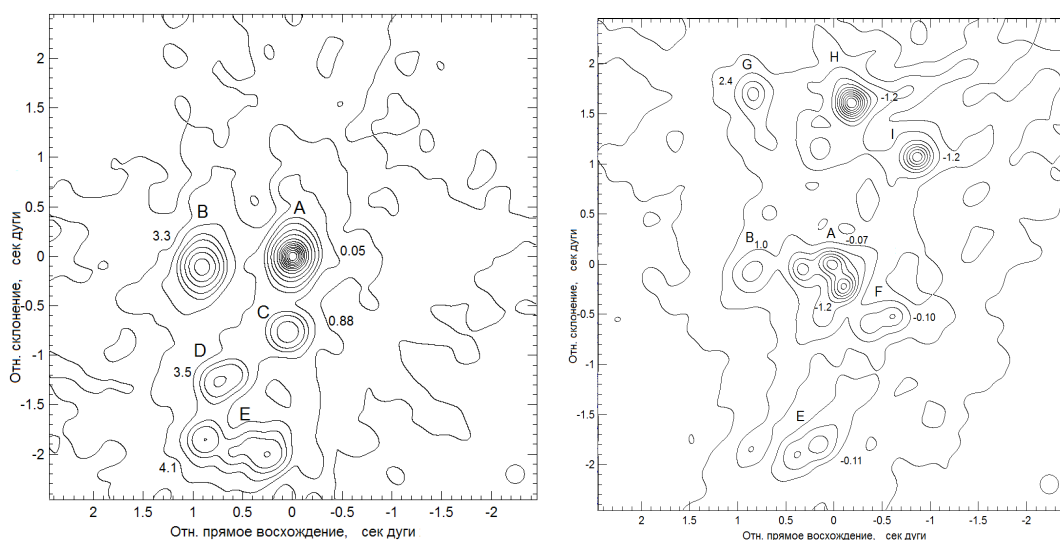


Рис.5. Радиокарты объекта W 3 OH в правой и левой круговой поляризациях в линии гидроксила $\lambda=18$ см – слева.

Отработана методика измерений и обработки данных в импульсном излучении пульсара Крабовидной туманности совместно с МПИФР, Бонн. Завершен первый цикл наблюдений. Подготовлен и проведен завершающий цикл наблюдений в конце ноября этого года на системе КВАЗАР-КВО с участием РТ-100, Эффелсберг, с последующей корреляционной обработкой данных в ИПА.

2.2. Газопылевые комплексы H_2O мазерного излучения. Радиотелескопы системы «КВАЗАР-КВО» оснащены радиометрами на волну 1.35 см. Разработана методика наблюдений, проведены тестовые наблюдения на элементах интерферометра и РСДБ системе в линиях водяного пара, получены спектры объектов Орион КЛ и W3OH и W49, определены поляризационные характеристики излучения. На рис. 2 приведены спектральные отклики интерферометров объекта W49, определяются положения и структура отдельных

компонент. Впервые получены изображения Ориона КЛ по данным наблюдений на отечественной РСДБ системе рис. 6, [4- 6]. В ноябре проведены комплексные испытания системы КВАЗАР-КВО с участием РТ-100 Эффелсберг и двух РТ-32 Медичина и Ното, Италия, получены отклики интерферометров по наблюдениям Ориона КЛ. Корреляционная обработка РСДБ данных проводится в ИПА.

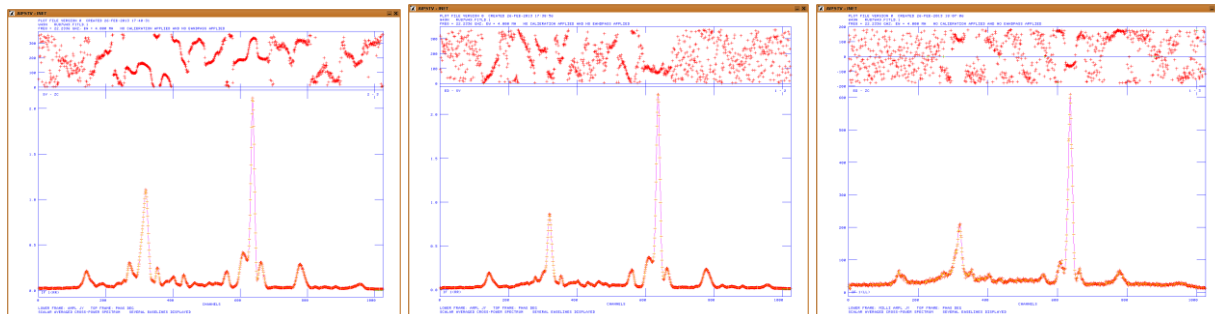


Рис. 5. Отклики интерферометров БД-СВ, БД-ЗК, ЗК-СВ источника W49, $\lambda=1.35$ см.

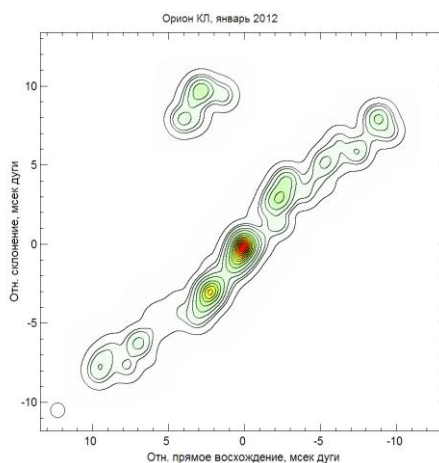


Рис. 6. Изображение Ориона КЛ в линии водяного пара $\lambda=1.35$ см эпоха 2012 .

Раздел Астропыль

Исследование пылевого диска в двойной затменной системе эpsilon Возничего (ϵ Aur). Кривая блеска ϵ Aur прослежена по архивным наблюдениям на протяжении более 120 лет. Известно, что вне затмений она выглядит как сверхгигант спектрального класса F2I, затмения которого с амплитудой $\sim 0.8^m$ наблюдаются каждые 27 лет. Несмотря на значительное число наблюдений этой звезды в широком спектральном диапазоне, долго оставалась не выясненной природа второго компонента. Только во время последнего минимума блеска было получено изображение затмевающего тела дискообразной формы — пылевой оболочки вокруг более массивного компонента. Анализ фотометрических наблюдений в полосах JHKLM инфракрасного диапазона спектра, полученных совместно с ГАИШ МГУ, на протяжении интервала охватывающего два минимума блеска 1982—2013 гг. позволил обнаружить вторичный минимум блеска вблизи фазы 0.606, именно в то время, когда, исходя из принятых в настоящее время элементов орбиты, диск сверхгиганта затмевает пылевой диск. Получено распределение энергии затмеваемого источника в спектральном интервале 1.25—4.8 мкм (см. рисунок). Спектр и величина потока соответствует излучению красного гиганта (post-AGB).

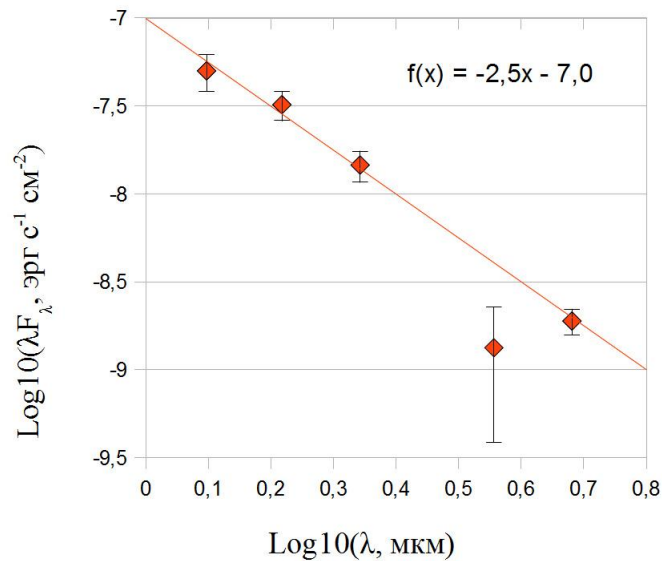


Рис. Зависимость потока затмеваемого объекта от длины волны. Сплошная линия и формула— аппроксимация степенной зависимостью.

Предположение, что минимум вблизи 3.6 мкм возникает из-за преобладания в более длинноволновой области спектра теплового излучения пыли, приводит к слишком большому размеру пылевой оболочки. Если этот минимум не является ошибкой эксперимента, то возможно он связан с поглощением полиароматическими углеводородами. Предсказывается ближайший следующий момент вторичного минимума в декабре 2026 — январе 2027 гг. (Маслов И.А., imaslov@iki.rssi.ru).