

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

2006 – 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	1
Детальные исследования галактик	1
Галактики с низкой металличностью	8
Внегалактические шаровые скопления	10
Галактики Ближней Вселенной	11
Скопления галактик	12
ФИЗИКА ЗВЕЗД	14
Интерферометрия звезд на БТА	14
Релятивистские звездные объекты	16
Космические гамма-всплески, сверхновые звезды	17
Звезды на поздних стадиях эволюции	19
Звезды с неясным эволюционным статусом	22
Новые и новоподобные звезды	23
Магнитные звезды	27
Массивные звезды	30
Исследования SS 433	31
Ультраяркие рентгеновские источники	33
Катаклизмические переменные	34
РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	36
Глубокие обзоры неба на РАТАН-600	36
Проект «Большое трио»	39
Реликтовый фон	41
Переменные радиоисточники	45
Мониторинг микроквazarов	47
Мониторинг Солнца в радиодиапазоне	50

Внегалактические исследования

ДЕТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИК

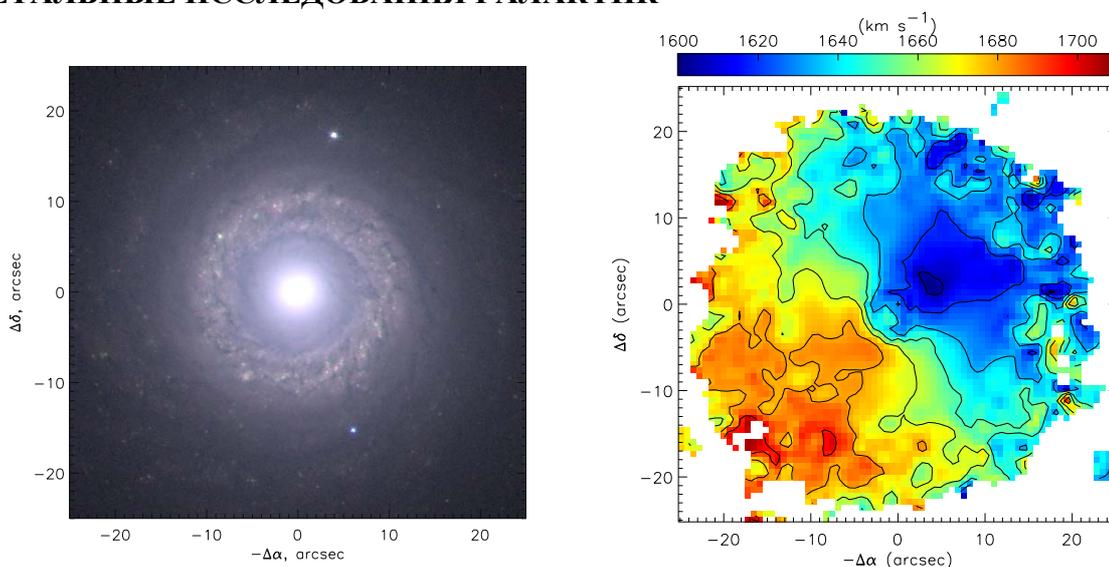


Рис. 1. NGC 7742. Слева – комбинация трех изображений в широких фильтрах (архив HST/WFPC2). Справа – поле скоростей ионизованного газа в линии [NII] (БТА, SCORPIO/IFP).

NGC 7742. Проведено детальное изучение Sb-галактики с околядерным кольцом звездообразования NGC 7742. Полученные результаты (рис. 1) сравнивались с изученным объектом такого же типа NGC 7217. У каждой галактики имеются два экспоненциальных звездных диска с различными значениями радиальных шкал, а также присутствует околядерный наклонный газовый диск радиусом около 300 пк и контрвращающаяся подсистема (газовая в NGC 7742 и звездная в NGC 7217). Обе галактики имеют околядерные кольца звездообразования, по всем признакам относящиеся к резонансным кольцам в галактиках с перемычками (барам), однако сами бары в этих галактиках отсутствуют. Все наблюдаемые пекулярности можно объяснить недавним поглощением карликового спутника («minor merging»). В этом случае кольца действительно являются резонансными, но сами резонансы возникли в результате генерации транзитных баров (ныне рассосавшихся) приливным возмущением звездных дисков.

А.В. Мусеев, О.К. Сильченко (ГАИШ МГУ).

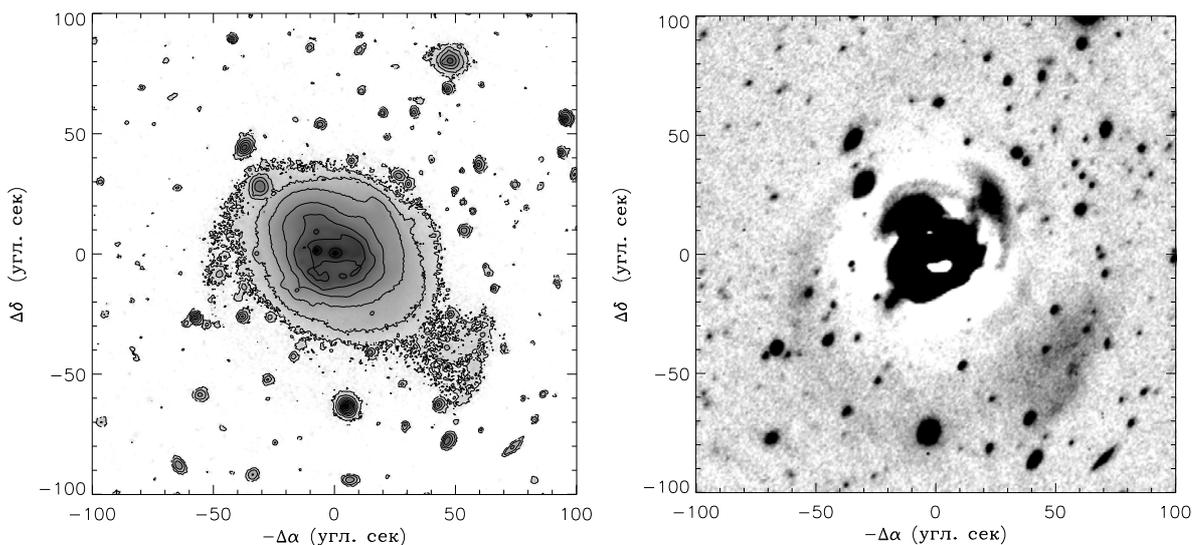


Рис. 2. Слева: изображение NGC 6104 в фильтре R в шкале звездных величин, внешняя изофота соответствует поверхностной яркости $26^m/\square''$, шаг изофот $1^m/\square''$. Справа: остаточные яркости изображения NGC 6104 в R-полосе после приведения к положению «плашмя» и вычитания модели диска.

NGC 6104. Показано, что NGC 6104 находится в стадии активного поглощения галактики-спутника: удалось обнаружить его остатки в виде оболочек низкой поверхностной яркости (рис. 2). Обнаружено истечение

ионизованного газа из ядра, предположительно вызванное вторжением радиоджета в окружающую межзвездную среду. Произведены оценки вкладов в ионизацию галактического газа, как от активного ядра, так и от процессов звездообразования. Оценена угловая скорость вращения бара и показано, что наблюдаемое на изображениях галактики внутреннее кольцо имеет резонансную природу. Возникает вопрос: существует ли связь между крупномасштабными внешними структурами (остатками поглощенного спутника) и внутренними особенностями галактики (радиальные движения к центру и само активное ядро)? Здесь можно предположить две возможности: либо кольцо и бар существовали в диске галактики еще до взаимодействия со спутником, либо возникли уже в процессе этого взаимодействия. В любом случае, взаимодействие приводит к перераспределению массы в галактике, прежде всего к ее большей концентрации в центральных областях. Если бар и кольцо уже существовали в галактике, то такое перераспределение могло увеличить темп поступления газа через бар к активному ядру. Тогда ряд peculiarностей в форме кольца (асимметрия, смещение центра) объясняются искажениями гравитационного потенциала в результате взаимодействия.

А.А. Смирнова, А.В. Моисеев, В.Л. Афанасьев.

Mrk 334. В Mrk 334 наблюдается конечная фаза слияния галактики с массивным спутником. Перераспределение вещества в диске способствует как активности ядра, так и бурному звездообразованию. Этот процесс в околядерной области настолько интенсивен, что его вклад в суммарную ионизацию газа превосходит таковой от активного ядра. Истечение газа из ядра галактики со скоростями около 200 км/с объясняется как галактический сверхветер, сопровождающий центральную вспышку звездообразования, что согласуется с асимметричным распределением яркости на рентгеновском изображении галактики. В диске галактики обнаружена каверна, заполненная ионизованным газом низкой плотности. Значительные отклонения лучевых скоростей ионизованного газа от модели кругового вращения в этой области согласуются с идеей о пролете ядра спутника через диск основной галактики.

А.А. Смирнова, А.В. Моисеев. MNRAS, 401, 307 (2010).

NGC 2551 и NGC 5631. Значительную роль в эволюции галактик играет их взаимодействие, в том числе и поглощение карликовых спутников. В этом случае должны наблюдаться системы, в которых газовая и звездная подсистемы имеют разное направление вращения. Пока известно всего около десятка таких галактик. Наблюдения показали, что в линзовидных галактиках NGC 2551 и NGC 5631 существуют крупномасштабные диски ионизованного газа, вращающиеся в противоположную сторону относительно звездного диска. В NGC 2551 плоскости газового и звездного дисков совпадают, а в NGC 5631 газовый диск имеет небольшой наклон относительно звездного (рис. 3). Предполагается, что в этих галактиках наблюдаются две последовательные стадии поглощения маломассивного богатого газом спутника (малый мерджинг). Такое событие представляет собой ключевой этап формирования линзовидных галактик в относительно бедном окружении.

О.К. Сильченко (ГАИШ МГУ), А.В. Моисеев, В.Л. Афанасьев. AJ, 694, 1550 (2009).

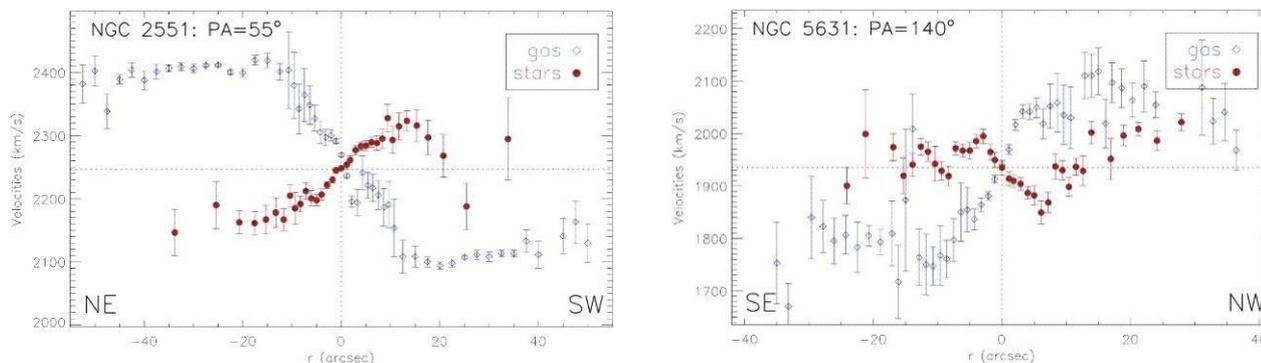


Рис. 3. Распределение наблюдаемых лучевых скоростей (BTA/SCORPIO) газового и звездного компонент вдоль большой оси диска галактики NGC 2551 (слева) и галактики NGC 5631 (справа).

MALIN 1 – уникальная галактика низкой поверхностной яркости, обладающая самым большим звездным диском среди известных спиральных галактик. Ее размер в полосе R составляет ~120 кпк. Структура и происхождение Malin 1 остаются пока малопонятными из-за отсутствия детальных наблюдательных данных. Показано, что галактика Malin 1B является возможным спутником Malin 1 (рис. 4). Спутник виден на опубликованных изображениях Malin 1, но не занесен ни в одну астрономическую базу данных. Malin 1B находится на расстоянии ~14 кпк от ядра Malin 1 и имеет небольшую 65 ± 16 км/с относительную скорость. Взаимодействие с Malin 1B может объяснить морфологические особенности центральной части Malin 1 – двухрукавную спиральную структуру, бар и внешнюю однурукавную спираль. Показано, что галактика SDSS J123708.91+142253.2 может быть ответственна за формирование протяженной оболочки низкой поверхностной яркости, возникшей вследствие лобового столкновения с Malin 1.

В.П. Реишников (СПбГУ), А.В. Моисеев, Н.Я. Сотникова (СПбГУ). MNRAS, 406, L90 (2010).

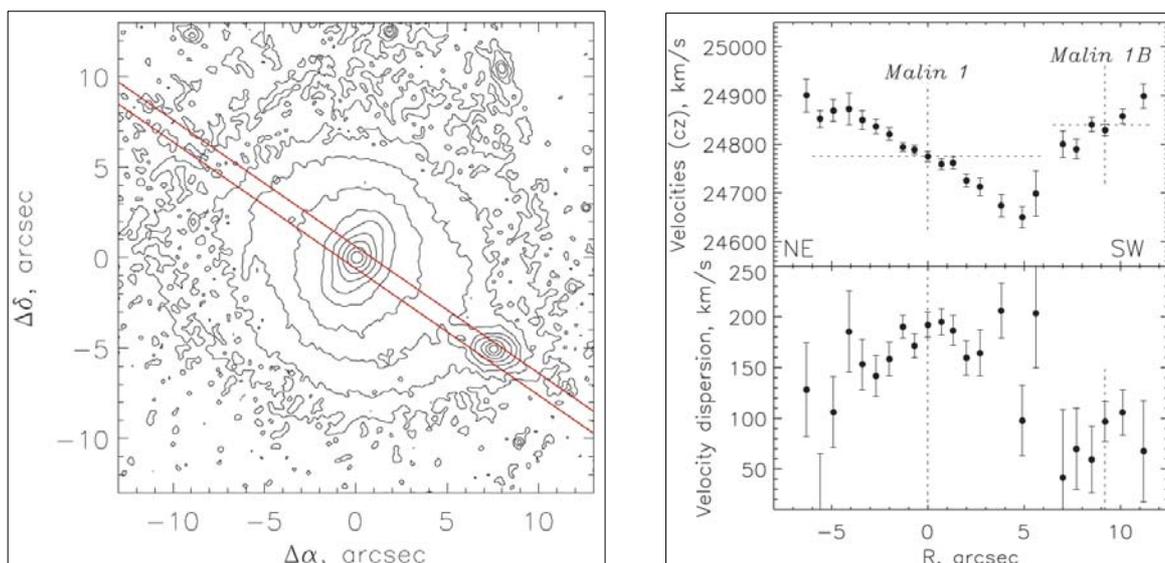


Рис. 4. Слева - изображение центральной части Malin 1 (архив HST). Показано положение щели спектрографа. Справа - распределение лучевых скоростей и дисперсии скоростей звезд (БТА/SCORPIO) пунктиром отмечено положение фотометрических центров основной галактики и спутника Malin 1B, а также их системные скорости.

СЛЕДЫ НЕДАВНИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ИЗОЛИРОВАННЫХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИКАХ

На глубоких оптических снимках (БТА) обнаружены протяженные приливные структуры, окружающие ряд активных (сейфертовских) галактик, ранее считавшиеся не взаимодействующими. В выборке изолированных галактик с активным ядром ~35% звездных систем претерпели слияние с другой галактикой в течение последних 0.5-1 млрд. лет. Поверхностная яркость внешних приливных структур достаточно слабы, чтобы не быть заметными на цифровых обзорах неба. Таким образом, статистические исследования, основанные на современных цифровых обзорах неба, приводят к недооценке доли малых слияний среди галактик с активными ядрами. Приливные возмущения, вызванные взаимодействиями, способствуют натеканию газа в области действия «центральной машины» активного ядра, поэтому важно правильно оценить роль слияний галактик в инициировании и поддержании активности их ядер.

А.А. Смирнова, А.В. Моисеев, В.Л. Афанасьев. MNRAS, 408, 400 (2010).

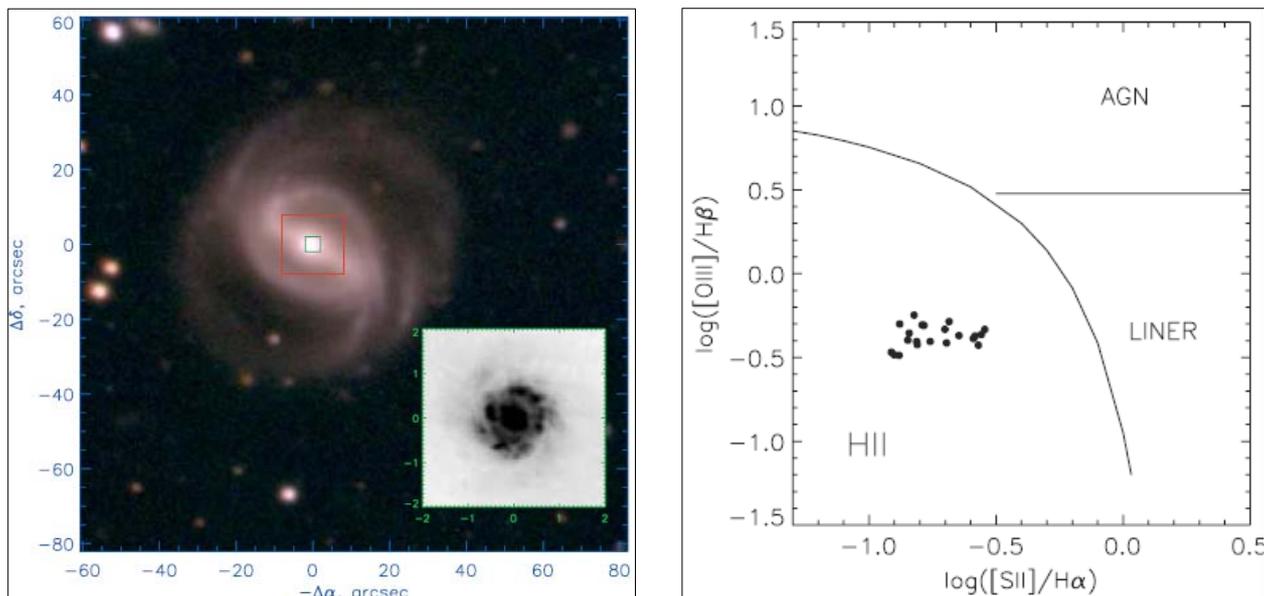


Рис. 5. Слева - BVR-изображение Mrk 493 (БТА). Красным квадратом отмечено поле зрения MPFS, маленький зеленый квадрат отмечает внутреннюю область (HST), показанную в увеличенном виде на врезке. Справа - диагностическая диаграмма отношения эмиссионных линий в ядре Mrk 493.

Mrk 493. Показано, что за излучение в эмиссионных линиях центральной области галактики ответственно как активное ядро, так и области звездообразования, расположенные в околоядерном кольце. Основным источником ионизации является процесс бурного звездообразования, а не активное ядро (рис. 5). Линии ионизованного

железа Fe II образуются в более внешней части, чем область формирования широких линий. Бурное звездообразование вблизи ядра вносит дополнительный вклад в формирование линий Fe II. Ранее считалось, что интенсивные линии железа образуются непосредственно вблизи центрального аккреционного диска.

А.А. Смирнова, А.В. Моисеев, В.Л. Афанасьев, Л. Попович и Е. Ковачевич (Сербия). AJ, 137, 3548 (2009).

Mrk 533. У сейфертовской галактики Mrk 533 обнаружен изгиб внешних областей газового диска, вызванный взаимодействием со спутником. На пространственных масштабах 5-15 кпк доминируют радиальные движения газа в спиральных рукавах. На перенос газа во внутреннюю область влияет гравитационное воздействие, оказываемое баром. На расстояниях 1-2 кпк от центра наблюдается как движения газа к ядру, так и радиальное истечение ионизованного газа наружу, вызванное воздействием радиоджета на межзвездную среду в окооядерной области. Обнаружена стратификация области формирования узких запрещенных линий (NLR) на три компонента с лучевыми скоростями от 30 до 700 км/с, которая является результатом вторжения релятивистского джета в окружающую среду.

А.А. Смирнова, А.В. Моисеев, В.Л. Афанасьев, Л. Попович и Н. Гаврилович (Сербия). MNRAS, 377, 480 (2007).

VII ZW 403. Кроме известных ранее ярких HII областей и слабого гигантского кольца, окружающего всю область звездообразования, обнаружено много новых слабых диффузных и дуговых структур. Выявлена «тонкая структура» гигантского кольца. Не подтверждается обнаруженное ранее расширение ярких сверхоболочек вокруг ассоциаций молодых звезд со скоростью 50-70 км/с (наши оценки $\leq 15-20$ км/с, и соответствующий кинематический возраст не менее 3-4 млн. лет хорошо согласуется с возрастом связанных с ними компактных ОВ-ассоциаций). Слабые протяженные волокнистые и диффузные области ионизованного газа, выделенные практически во всей центральной области галактики, и гигантское кольцо HII сопоставляется с более старым (10 млн. лет) звездным населением последней вспышки звездообразования. В самой яркой HII области обнаружены слабые высокоскоростные крылья линий [OIII] и H α (до 300 км/с от центра линии). Такие скорости наблюдаются в галактике впервые.

А.В. Моисеев, Т.А. Лозинская, В.Ю. Авдеев и О.В. Егоров (ГАИШ МГУ).

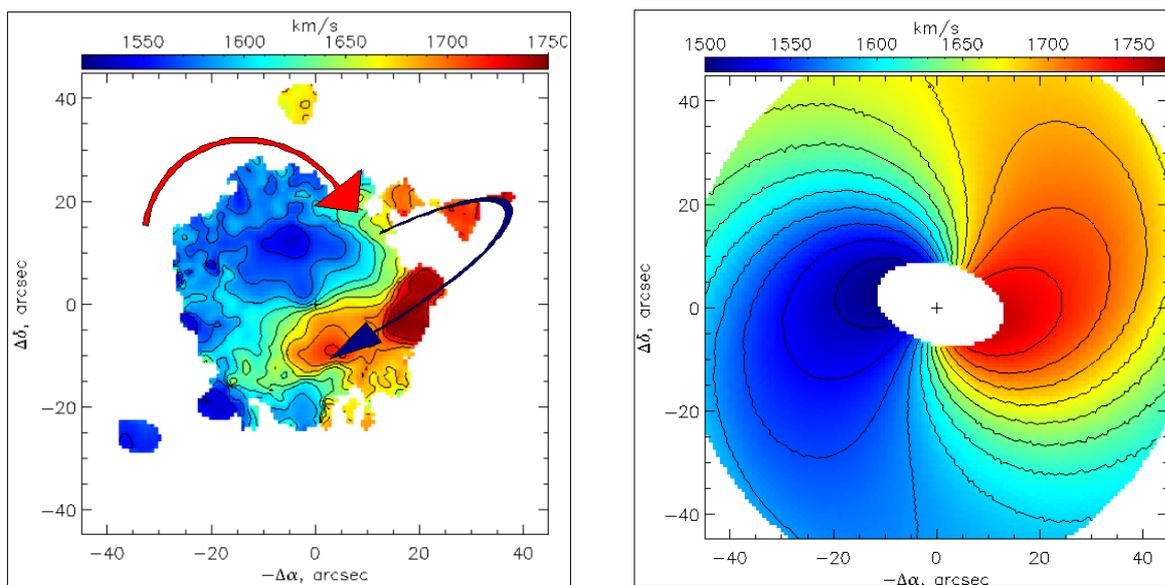


Рис. 6. Слева - поле скоростей ионизованного газа в галактике Arp 212 (БТА). Красной и синей стрелками показаны направления вращения, соответственно, внутренних и внешних областей. Справа – двумерная модель поля скоростей изогнутого газового кольца.

Arp 212. В пекулярной галактике Arp 212 обнаружены две различные кинематические системы вращающегося ионизованного газа: внутренний диск и внешние области HII. Внутренняя система совпадает со звездным диском галактики, а внешние орбиты газовых облаков располагаются к нему под значительным углом. Имеющиеся данные можно объяснить тем, что большая часть газа в галактике собрана в широком кольце радиусом ~ 20 кпк. Внешние части кольца вращаются в плоскости, ортогональной к звездному диску. Орбиты газовых облаков прецессируют с уменьшением радиуса и приближаются к плоскости диска (рис. 6). Причина прецессии – трехосность в распределении гравитационного потенциала. Наблюдается взаимодействие между газом полярного кольца и внутреннего диска. Столкновение газовых облаков сопровождается вспышкой звездообразования во внутренних областях изогнутого полярного кольца. Наиболее вероятная причина образования полярного кольца – захват газа карликовой галактики UGC 12549.

А.В. Моисеев. Астрофиз. бюлл., 63, 201 (2008).

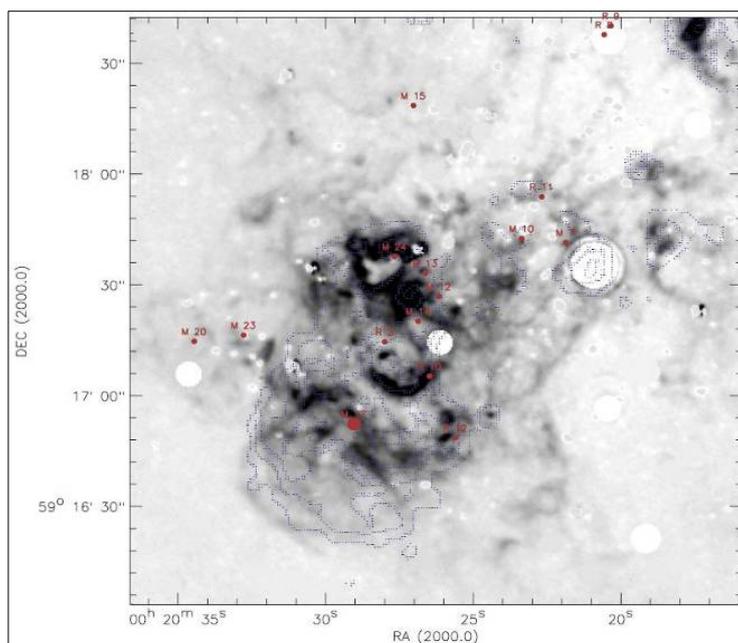


Рис. 7. Изображение IC 10 в линиях дуплета [SII]. Красным отмечены звезды Вольфа-Райе (WR). Жирным красным кружком отмечена звезда WR M17 – оптический компонент тесной двойной системы рентгеновского источника X-1. Синим показаны контуры радиоизображения IC 10.

IC 10. Синхротронная сверхоболочка (СС) диаметром ~ 200 пк была открыта в галактике IC 10 в 1993 г. По линии $H\alpha$ проведена оценка характерной скорости разлета ярких сгустков оболочки (50-80 км/с). Изображение в линиях [SII] выявило оптическую волокнистую структуру, которая идентифицируется с синхротронной радиооболочкой (рис. 7). Оценены масса, кинематический возраст и кинетическая энергия СС. Общепринятый механизм образования СС в результате множественных вспышек десятка сверхновых в данном случае не подтверждается. Предполагается, что СС образовалась при вспышке гиперновой. Найденный возраст сверхоболочки (40000-50000 лет) также является аргументом в пользу этой модели, поскольку для вспышки десятка сверхновых требуется на порядок большее время. Наиболее вероятным компактным остатком гиперновой является ярчайший рентгеновский источник IC 10 X-1.

А.В. Моисеев, Т.А. Лозинская (ГАИШ МГУ). MNRAS, 381, L26 (2007).

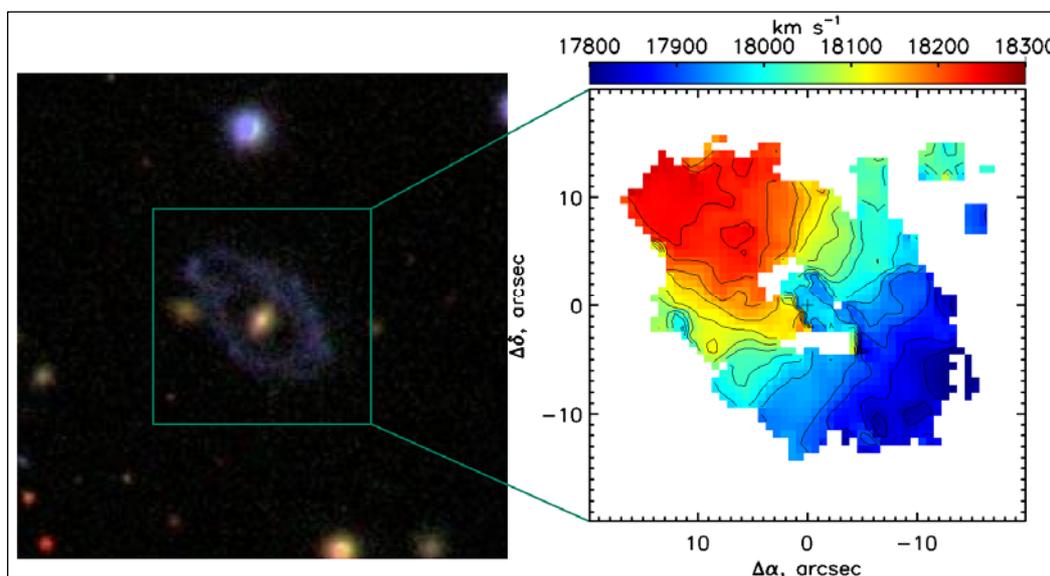


Рис. 8. Далекая галактика с полярным кольцом. Слева – изображение из SDSS. Справа - поле лучевых скоростей ионизованного газа (БТА, SCORPIO/IFP).

SDSS J075234.33+292049.8. Детально исследована необычная кольцевая галактика (рис. 8, слева). Центральный объект, выделяющийся своим красным показателем цвета, является галактикой раннего типа. Внешнее синее кольцо состоит из более молодого звездного населения и излучает линии ионизованного газа. Показано (рис. 8, справа), что это гигантское (~ 45 кпк диаметром) кольцо вращается под заметным углом к плоскости центральной галактики. По разным оценкам угол между ними составляет $58^\circ \pm 10^\circ$ или $73^\circ \pm 11^\circ$. Таким образом, SDSS J075234.33+292049.8 представляет собой галактику с полярным кольцом (самый далекий $z=0.06$ из известных). Считается, что такие объекты образуются в результате внешней аккреции газа или при слиянии

галактик со специфическим направлением их моментов вращения. Близким аналогом является известная галактика NGC 4650A. Масса галактики составляет около $4 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, а большое отношение $M/L=20$ указывает на значительный вклад темной материи в общую массу системы..

А.В. Моисеев, С.А. Пустильник, Н. Брош (Израиль), А.Ю. Князев (ЮАР). MNRAS, 401, 2067 (2010).

Mrk 33 и Mrk 370. В двух голубых компактных галактиках обнаружен ионизованный газ на полярных или сильно наклонных орбитах. Весь газ в Mrk 33 сконцентрирован в компактном диске (3 кпк в диаметре), вращающемся в плоскости, перпендикулярной к основному звездному телу. Внутренний диск ионизованного газа имеет сходную кинематику с внешней структурой в HI. Значительная часть звезд уже сформировалась на полярных орбитах, и внутренний газовый диск остается стабильным на шкале превышающей характерное динамическое время. В Mrk 370 газовый диск имеет более сложную структуру. Внешние эмиссионные области вращаются в плоскости, примерно совпадающей со звездным диском галактики. Но на меньших расстояниях от центра ($r < 800$ пк) круговые орбиты в газовом диске резко меняют ориентацию. Газовый диск в Mrk 370 является уменьшенным аналогом сильно изогнутых дисков, недавно найденных в NGC 2685. Присутствие газовых полярных структур говорит о том, что вспышка звездообразования в этих галактиках могла быть обусловлена внешней аккрецией газа или поглощением спутника.

А.В. Моисеев

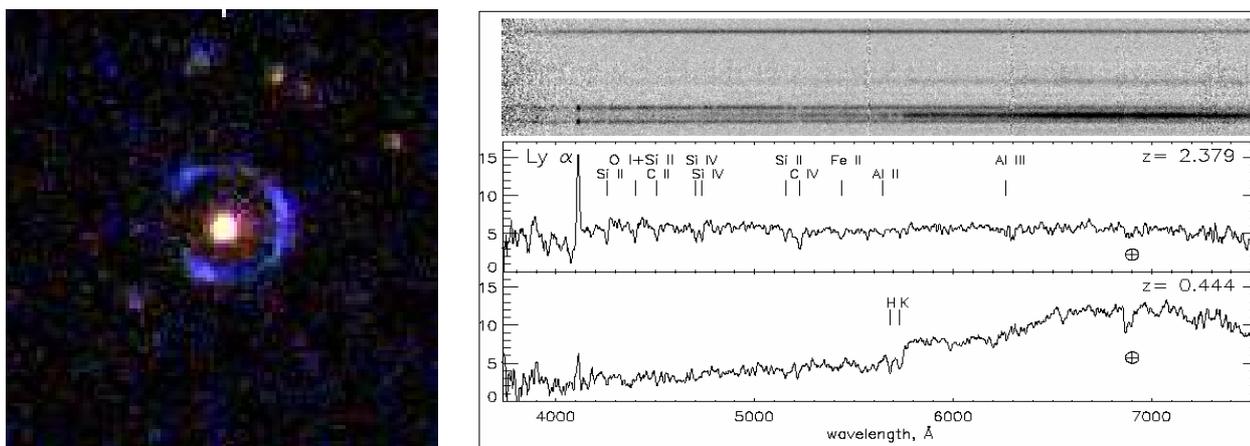


Рис. 9. Слева - гравитационная линза «Космическая подкова» (изображение [40"x40""] из обзора SDSS). Справа - спектры центральной галактики-линзы и галактики-источника.

ОБНАРУЖЕНИЕ НОВЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ЛИНЗ. В результате наблюдений кандидатов в гравитационные линзы обнаружена красная галактика, окруженная голубым, почти замкнутым кольцом (рис. 9, слева, «Космическая подкова»). Центральный объект представляет собой массивную и относительно близкую эллиптическую галактику с красным смещением $z = 0.44$. Спектр конденсаций внутри голубого кольца соответствует галактике, в которой происходит образование молодых массивных звезд, ионизирующих окружающий газ (рис. 9, справа). Она оказывается значительно более далекой ($z = 2.38$), чем центральный объект. Фактор усиления яркости гравитационной линзы составляет 35-50, а диаметр кольца Эйнштейна - $10''$. Найденная масса галактики-линзы позволяет отнести ее к наиболее массивным объектам верхнего конца функции масс галактик.

А.В. Моисеев, В. Белокуров, Н.В. Эванс и др. AJ, 671, L9 (2007).

NGC 4151. Закончен анализ переменности континуума и эмиссионных линий ядра NGC 4151 (1996-2006 гг.). Максимум активности наблюдался в 1996 г. Спектральный тип объекта менялся от Sy 1.5 в максимуме до Sy 1.8 в минимуме активности. Обнаружена линейная связь между изменениями потоков в линиях и континууме. Отношения потоков в красной и голубой части крыльев линий менялись различно у H_{α} и H_{β} . Излучение BLR объясняется вкладом двух компонентов: ионизованным излучением аккреционного диска и его короны, а также вращающимся субрелятивистским потоком, окружающим джет. Выполнено моделирование профилей линий в рамках модели с ускоренным истечением газа (ветер) из излучающей области и получено удовлетворительное согласие между вычисленными и наблюдаемыми средними профилями линий.

3C 390.3. Выполнена обработка спектрального мониторинга сейфертовской радиогалактики 3C 390.3. Из оптических данных (1995-2008 гг.) и 20 эпох (1992 -2008 гг.) наблюдений радиоструктуры на 15 ГГц (VLBI, NRAO) обнаружена связь между переменностью радиоизлучения компактного джета и континуальной эмиссией в оптическом диапазоне. Переменность оптической эмиссии на временах порядка 10 лет хорошо коррелирует с радио излучением от основания джета, расположенного выше аккреционного диска. Предложена модель ядерной области 3C 390.3, в которой направленная континуальная эмиссия от джета и контр-джета ионизует материал в субрелятивистском потоке, окружающем джет. В результате образуется 2 конические области на расстоянии ~ 0.6 пк от центральной машины, дающие двойные пики в широких эмиссионных линиях,

дополнительно к излучению BLR.

А.И. Шановалова.

NGC 4460. В H_{α} -обзоре близких галактик обнаружена яркая протяженная туманность вокруг линзовидной галактики NGC 4460. Анализ показал, что это выброс газа над плоскостью галактики со скоростью ~ 130 км/с или так называемый «галактический ветер» (рис. 10). Причиной выброса является коллективное действие ветров молодых массивных звезд и сверхновых, находящихся в центральной области галактики. При этом все современное звездообразование сосредоточено в компактной области радиусом ~ 1 кпк. Суммарная кинетическая энергия выброшенного газа в несколько раз меньше, чем для известного галактического ветра в близкой галактике NGC 253, что объясняется заметно меньшим темпом звездообразования в NGC 4460. Вероятно, что звездообразование в них подпитывается падением облаков межгалактического газа, причем этот процесс на космологической шкале носит монотонный, без сильных вариаций характер.

А.В. Моисеев, И.Д. Караченцев, С.С. Кайсин.

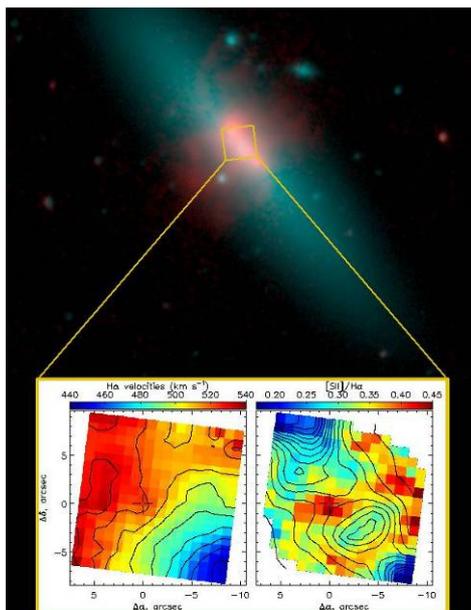


Рис. 10. NGC 4460. Синим цветом показано распределение яркости в звездном континууме, красным - ионизованного газа в линии H_{α} . Квадратом выделена область, наблюдавшаяся с 3D-спектрографом MPFS. Для нее приведено поле скоростей ионизованного газа (слева) и карта отношения линий $[SII]/H_{\alpha}$ с контурами изображения в H_{α} (справа).

СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК.

Проведены спектрополяриметрические наблюдения выборки активных галактических ядер (БТА/SCORPIO). Зависимость степени поляризации от длины волны проанализирована с учетом эффекта фарадеевского вращения плоскости поляризации на длине свободного пробега фотона в замагниченном аккреционном диске. На основе традиционных моделей аккреционных дисков определены величина и распределение магнитного поля и ряда физических параметров аккрецирующей плазмы вблизи горизонта событий сверхмассивной черной дыры. Оценено влияние спина вращающейся черной дыры на величину оптической поляризации излучения активных галактических ядер. Обнаружено, что имеется слабая корреляция между степенью поляризации и массой черной дыры, и довольно заметная между показателем степени в зависимости поляризации и массой черной дыры.

В.Л. Афанасьев, Н.В. Борисов, Ю.Н. Гнедин и Т.М. Нацелишвили, М.Ю. Пиотрович, С.Д. Булига (ГАО РАН).

ЗВЕЗДНОЕ НАСЕЛЕНИЕ В ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ГАЛАКТИКАХ.

Вопреки широко распространенному мнению, оказалось, что возраст звездного населения непостоянен по радиусу в большинстве исследованных эллиптических галактик (в 4 из 5): центральные части галактик могут быть как старше, так и моложе более внешних областей. В большинстве галактик градиент химсостава не аппроксимируется единым степенным законом во всем диапазоне исследованных расстояний от центра. При этом во внутренних областях градиенты металличности очень крутые. Эти факты противоречат популярной сейчас концепции образования эллиптических галактик в результате иерархического слияния (скупивания) дисковых галактик – так называемого «большого мерджинга». Предполагается, что внутренние области эллиптических галактик образовались в результате монолитного коллапса протогалактического облака, в то время как смешанное звездное население внешних областей формировалось поглощением менее массивных спутников.

А.В. Моисеев, М. Баас (Бельгия) и О.К. Сильченко (ГАИШ МГУ).

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕЖГАЛАКТИЧЕСКОЙ МЕТЕОРНОЙ ЧАСТИЦЫ.

Зарегистрирован спектр (БТА/SCORPIO) слабого метеора со скоростью вторжения в атмосферу Земли 300 км/с (рис. 11). Размер метеорной частицы составил десятые доли миллиметра, что совпадает с размерами хондр в углистых хондритах и на два порядка больше типичных размеров межзвездной пыли. Радиант траектории метеора совпадает с положением апекса

получены ясные свидетельства взаимодействия. Повышенный темп звездообразования в BCGs в большой части случаев индуцирован недавними взаимодействиями с другими галактиками. На рис. 13 показаны два примера начальной стадии слияния XMD BCGs по картам HI, полученным на GMRT.

С.А. Пустильник, Дж. Ченгалур и Экта (Индия), А. Князев (ЮАР), Ж.-М. Мартэн (Франция).

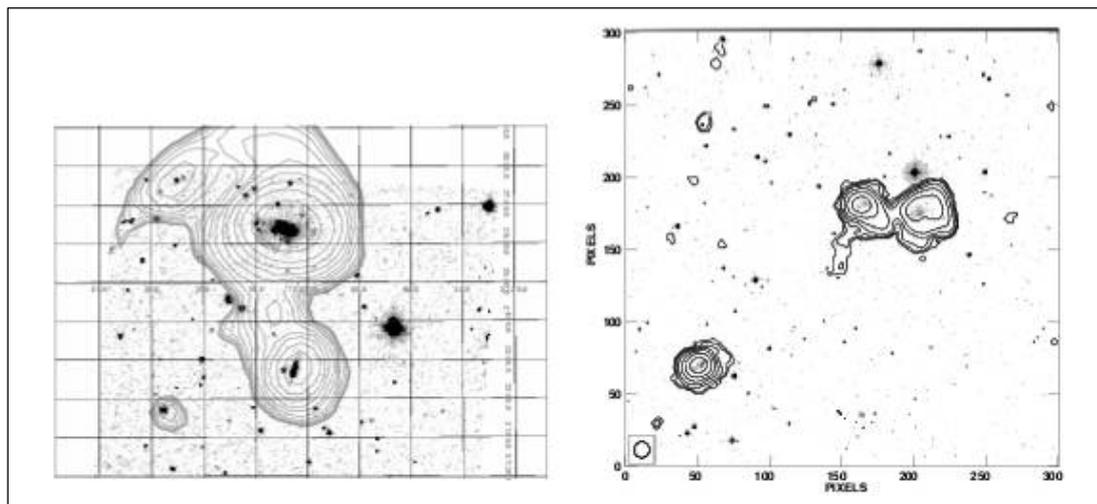


Рис. 13. Карты распределения HI (GMRT, Индия) в двух взаимодействующих XMD BCGs. Слева показаны изолинии плотности HI, наложенные на оптическое изображение (из DSS) XMD галактики SBS 1129+576 и ее северного «спутника» SBS 1129+577. Перемычка из HI, соединяющая обе галактики, указывает на слияние, происходящее в этой системе. Имеется также приливной хвост, вытянутый к NE от SBS 1129+577 (см. Eкта et al. 2006, MNRAS, 372, 853). Справа показана аналогичная картина с наложением HI карты на оптическое изображение для другой XMD BCG - SDSS J1105+6022, которая взаимодействует с соседней LSB галактикой, расположенной в направлении к западу. Также имеется HI перемычка, указывающая на раннюю стадию слияния, и приливной хвост в южном направлении у SDSS J1105+6022.

DDO 68. Ее низкая металличность ($12+\log(O/H)=7.14\pm 0.03$) подтверждена независимой спектроскопией (Izotov & Thuan, 2007). HI-морфология и поле скоростей галактики показывают 2 симметричных «приливных» хвоста с близкими параметрами. Один из них частично совпадает с оптическим хвостом. В окрестности DDO 68 отсутствуют объекты, способные вызвать сильное приливное возмущение. Самой приемлемой интерпретацией является законченное слияние 2-х богатых газом объектов. Сравнение с моделями указывает на то, что первое сближение в этой системе должно было произойти ~ 0.5 Гуг назад. Фотометрия нескольких представительных областей DDO 68 вне зон звездообразования (SF) и сопоставление их цветов с модельными эволюционными треками дает диапазон возрастов звезд в них от 50 Муг до 0.5 Гуг. Излучение более старых звезд не обнаруживается. Масса видимых звезд не превышает 5% всей барионной массы (газ+звезды) в DDO 68. Все данные не противоречат гипотезе молодости объекта ($T_{stars} < 0.5$ Гуг). В рамках этой гипотезы первый эпизод SF в DDO 68 был связан с сильным возмущением и коллапсом «догалактического» газа при первом столкновении двух газовых протогалактик, закончившимся через 0.5 Гуг их полным слиянием..

С.А. Пустильник, А.Л. Теплякова, Дж.Н. Ченгалур и Экта (Индия), А.Я. Князев (ЮАР).

J0926+3343. Межзвездная среда в этой видимой с ребра карликовой галактике имеет низкую металличность $Z=Z_{\odot}/35$. Она относится к объектам очень низкой поверхностной яркости, находится в области войда Lynx-Cancer, очень богата газом, имеет необычно голубые цвета во внешней части. В том же самом войде на расстоянии 1.6 Мпк от J0926+3343 ранее отождествлена другая необычная галактика, DDO 68 (с близкой металличностью и также является очень богатой газом). Возрасты самых старых видимых звезд в DDO 68 не превышают 1 млрд лет. Найдено также несколько других галактик с очень низкой металличностью, принадлежащих этому войду. По-видимому, условия в войдах являются более благоприятными по сравнению с условиями в более плотном окружении для медленной эволюции и более позднего образования карликовых галактик.

С. Пустильник, А. Теплякова, А. Буренков и др. MNRAS, 401, 333 (2010).

ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ В КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИКАХ. Проведен анализ наблюдений (GMRT, Индия) в линии HI у галактик с самыми низкими металличностями и активным звездообразованием DDO 68, UGC 772 и SDSS J2104-0035. Они имеют возмущенную морфологию и поле скоростей, что указывает на сильное взаимодействие с другими близкими объектами. В этих галактиках, особенно у DDO 68, произошло недавнее слияние богатых газом объектов (вариант взаимодействий с другими галактиками не исключен), ставшее триггером вспышки звездообразования. Свойства HI-облаков трех других известных галактик с низкой металличностью IZw18 и SBS 0335-052 E ($Z_{ISM}\sim Z_{\odot}/23$) и SBS 0335-052 W ($Z_{\odot}/35$) также ясно указывают на их

происхождение в процессе слияния. Моделирование столкновения этих галактик дает разумное объяснение наблюдательным данным, включая и оценки возрастов наиболее старого и массивного звездного населения (~ 0.5 Gyr). Для этих 6-ти галактик с низкой металличностью впервые выявлена связь сильного взаимодействия с активным звездообразованием.

С.А. Пустильник и др.

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ

По данным БТА определены возраст, металличность и $[\alpha/\text{Fe}]$ для 16 шаровых скоплений (ШС) в галактиках NGC 147, NGC 185, NGC 205, а также для центральных областей диффузного излучения в NGC 185 и NGC 205. Все ШС выборки оказались старыми ($T > 8$ Gyr) и бедными металлами ($[Z/H] \leq -1.1$) за исключением трех. Большинство ШС выборки имеют солнечное $[\alpha/\text{Fe}]$ в отличие от ШС гало M31 и Млечного Пути. Морфологии горизонтальных ветвей ШС нашей выборки показывают такую же зависимость от металличности, как наиболее молодые ШС гало нашей Галактики. Звездные населения центральных областей NGC185 и NGC 205 имеют примерно тот же возраст, как и расположенные в центре галактик ШС (Hubble V в NGC 205 и FJIII в NGC 185), но гораздо более богатые металлами.

На VLT, ESO определены индексы интенсивности абсорбционных линий и эволюционные параметры для 17 шаровых скоплений. Все скопления оказались старыми, за исключением одного, и имеют низкую металличность $[Z/H] < -1$ dex и низкое относительное содержание α -элементов $[\alpha/\text{Fe}] \sim 0.2$. Частота встречаемости шаровых скоплений согласуется с ожидаемой из предсказаний модели формирования карликовых галактик под влиянием галактического ветра, генерируемого сверхновыми.

М.Е. Шарина, В.Л. Афанасьев, Т.Х. Пуция (США).

Скопления в NGC 147 делятся на 2 группы. Самые яркие ШС являются наиболее старыми и низкометаллическими. Менее массивные скопления, по-видимому, образовались вместе со второй генерацией звезд. Они богаче металлами. Содержание α -элементов в ШС гораздо ниже, чем в нашей Галактике, что говорит о менее значительной роли сверхновых II типа и массивных звезд при формировании карликовых галактик. По современным представлениям ШС образуются в периоды наиболее интенсивного звездообразования в карликовых галактиках. Согласно нашим результатам в NGC147 были 2 периода звездообразования ~ 13 и 8-10 млрд. лет назад. Измерена масса галактики.

М.Е. Шарина, Э. Даво (Франция). A&A, 497, 65 (2009).

Впервые в карликовой галактике (Scl-dE1 в группе Скульптор) открыто необычное шаровое скопление, одно из самых протяженных. Оно довольно яркое ($M_v = -6.7$) с радиусом по половине светимости - $r_h \sim 22$ pc. Уточнено расстояние (4.3 ± 0.25 Mpc) по светимостям звезд вершины ветви красных гигантов (HST/ACS).

Г.С. Да Коста (Австралия), Е.К. Гребель (Германия), Х. Йорген (Австралия), Х. Рейкиба (Германия), М.Е. Шарина. AJ, 137, 4361 (2009).

Определены (БТА/SCORPIO) характеристики 28 ШС в шести близких галактиках. В целом, старые и промежуточного возраста скопления имеют низкую металличность. Богатые металлами скопления молоды и встречаются в более массивных галактиках. ШС в карликовых галактиках низкой поверхностной яркости беднее металлами и α -элементами, чем скопления в более массивных галактиках при том же возрасте. Разброс по металличности ШС тем больше, чем ярче галактика. Продолжительность и интенсивность вспышек звездообразования в карликовых сфероидальных галактиках была гораздо выше, чем в иррегулярных. Последние потеряли большую часть своей массы в процессе звездообразования и взаимодействия с другими галактиками групп. Сравнение функций плотности вероятности распределения по возрастам свидетельствуют о том, что шаровые скопления в карликовых сфероидальных галактиках в среднем старше на 2-3 миллиарда лет, чем в иррегулярных.

М.Е. Шарина, Т. Пуция (Канада), Р. Чандар (США), П. Годфрой (США), Е. Даво (Франция).

Исследованы характеристики карликовых галактик низкой поверхностной яркости и систем шаровых скоплений в них. Выделены два семейства карликовых галактик, которые отличаются металличностью и структурным параметрам. По всей видимости, это вызвано различными сценариями звездообразования. В одном случае звездообразование вызвано внутренними причинами, в то время как в другой группе галактик звездообразование индуцировано сильным взаимодействием с соседями. Карликовые галактики различных морфологических типов входят в обе группы.

М.Е. Шарина, Т. Чаттопадхай (Индия).

Изучены ШС группы галактик Центавр А. Они делятся на 3 группы с различными свойствами и происхождением. Группа, состоящая из наиболее компактных, массивных и богатых металлами ШС, по-видимому, образовались в самой галактике в процессе ее формирования при слиянии двух спиральных галактик. Физические характеристики и характер движения ШС в двух других группах позволяет считать происхождение их внешним: 1) из поглощенной крупной спиральной галактики; 2) из остатков мелких

карликовых галактик, разрушенных приливными силами.

А.К. Чатонадхай, Т. Чатонадхай, С. Мондал (Индия), Э. Даво (Франция), М.Е. Шарина. ApJ, 705, 1533 (2009).

ГАЛАКТИКИ БЛИЖНЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Измерены лучевые скорости у 43 потенциальных спутников вокруг изолированных галактик Местного сверхскопления. Более 85% рассмотренных галактик действительно являются хорошо изолированными системами, и эта популяция «космических сирот» составляет ~4% среди галактик с $V < 3500$ км/с.

Среди 1500 изолированных галактик из каталогов САО обнаружено 8 объектов с сильно искаженной структурой. Искаженная форма обусловлена или асимметричной вспышкой звездообразования, или же слиянием галактик. Только в двух случаях структурные искажения могут быть вызваны близким пролетом невидимого массивного объекта. Согласно этим данным обилие «темных галактик» оказывается на 3 порядка меньше их ожидаемого числа в различных космологических моделях.

И.Д. Караченцев, Д.И. Макаров.

Подготовлен список 75 изолированных карликовых галактик поздних типов, которые не имеют соседних галактик. Изолированные карликовые галактики поздних типов по своим характеристикам не отличаются существенно от карликовых галактик, богатых газом, и расположенных в группах и скоплениях. Выявлено также 10 предполагаемых изолированных сфероидальных карликовых галактик. Обнаружение изолированных карликовых галактик, населенных исключительно старыми звездами, представляет большой интерес для разработки современных космологических сценариев образования галактик.

И.Д. Караченцев, М.Е. Шарина, В.Е. Караченцева (Украина).

По наблюдениям на радиотелескопе GMRT исследовано распределение видимых и истинных сжатий газовых дисков у карликовых иррегулярных галактик в Местном объеме. Показано, что среднее отношение осей у них составляет 0.6, т.е. в три раза больше, чем было принято ранее. Новое значение существенно влияет на функцию масс галактик на ее слабом конце, а также на наклон зависимости Талли-Фишера.

И.Д. Караченцев, С. Ройчадхари и Дж.Н. Ченгалур, А. Бегум (Индия).

Составлен каталог 395 близких групп галактик в пределах 50 Мпк. Полученная по близким группам и скоплениям средняя локальная плотность материи $\Omega_m = 0.08 \pm 0.02$ оказывается в три раза меньше средней глобальной плотности 0.27 ± 0.03 . Рассмотрены различные причины этого парадокса.

Д.И. Макаров, И.Д. Караченцев.

Сформирован каталог (CFGI) галактик ближней Вселенной. Целью нашей работы являлось обнаружение зависимости различных параметров, связанных с эволюцией галактик, от морфологического типа и окружения галактики. Было обработано около 1000 галактик в рамках проекта визуальной классификации галактик, направленном на создание универсальной программы автоматической морфологической классификации галактик по Хаббловскому типу и ряду морфологических признаков: величине и форме балджа, форме и толщине спиральных ветвей и т.д.

Д.И. Макаров, Л.Н. Макарова, А. Байлард, Э. Бертин, В. де Лапарен, П. Фуке, С. Арно и др.

Исследована история звездообразования (SFH) 14-ти карликовых галактик в близкой ($d \sim 3.8$ Мпк) группе Cen A. В большинстве исследованных галактик обнаружены две вспышки звездообразования. Первая вспышка произошла около 10-13 млрд. лет назад, причем металличность образовавшихся звезд низкая, вторая вспышка произошла около 0.1-1.0 млрд. лет назад. Необычным является высокий уровень обогащения металлами, например, для KK 197 и ESO 269-066, где металличность звезд с возрастом до 1 млрд. лет достигает уровня солнечной.

Л.Н. Макарова, Д.И. Макаров.

Исследовано звездное население двух карликовых сфероидальных галактик KDG61 и KDG64 в центральной части близкой группы галактик M81. В галактиках преобладает старое звездное население (с возрастом около 12-14 млрд. лет) низкой металличности ($[Fe/H] \sim -1.5$). Обнаружены звезды с более высокой металличностью. Они сформировались примерно от 1 до 4 млрд. лет назад. Обе галактики занимают промежуточное по светимости положение среди близких галактик. В обеих галактиках не обнаружено признаков газа. Обнаруженные в направлении галактик облака HI принадлежат KDG 64 и KDG 61.

Л. Макарова, Д. Макаров, М. Колева и Ф. Прюнель (Франция). MNRAS, 406, 1152 (2010).

Для 78 членов близкого облака галактик Гончие Псы проведено сравнение характеристик с аналогичными данными для близкой вириализованной группы вокруг M 81. Не обнаружено существенной корреляции между активностью звездообразования в галактике и плотностью ее окружения. Большинство галактик в Гончих Псах имело достаточно времени, чтобы воспроизвести свою барионную массу с наблюдаемым сейчас темпом звездообразования. Более половины этих галактик имеют достаточные запасы газа для продолжения звездообразования с наблюдаемым темпом на шкале еще одного хаббловского времени.

С.С. Кайсин, И.Д. Караченцев.

Показано, что галактика VV 124 находится на краю Местной группы в результате уточнения расстояния по красным гигантам. Кроме старых звезд в VV 124 были видны и молодые сверхгиганты, положение которых совпало с положением водородного облака, найденного позднее по радионаблюдениям. VV 124 движется к центру масс системы. Учитывая результаты специально ориентированных программ по поиску близких галактик, можно утверждать, что VV 124 является последней яркой карликовой галактикой, открытой в Местной группе.

А.И. Копылов, Н.А. Тихонов, С.Н. Фабрика, А.Ф. Валеев, И.О. Дроздовский (Испания). MNRAS, 387, L45, 2008.

Уточнены расстояния до галактик IC 342 и IC 10. Показано, что IC 342 находится вблизи эллиптической галактики Maffei 1 ($D = 4.1$ Мпк), что позволяет считать эти галактики центром одной группы. В исследуемом поле IC 342 выявлены звездные скопления, в том числе молодые шаровые скопления, для которых мы получили оценки металличности и возраста. Показано, что молодые звезды IC 10 имеют повышенную металличность, сравнимую с солнечной. Обнаружено большое число звездных скоплений (57), среди которых имеются молодые и старые шаровые скопления, звездные комплексы и рассеянные скопления. Галактика IC 10 находится на таком же расстоянии ($D = 780 \pm 40$ кпс), что и гигантская M31. Распределение старых звезд в IC 10 показывает, что размеры ее толстого диска галактики составляют $30' \times 20'$, и наблюдается еще более протяженное гало.

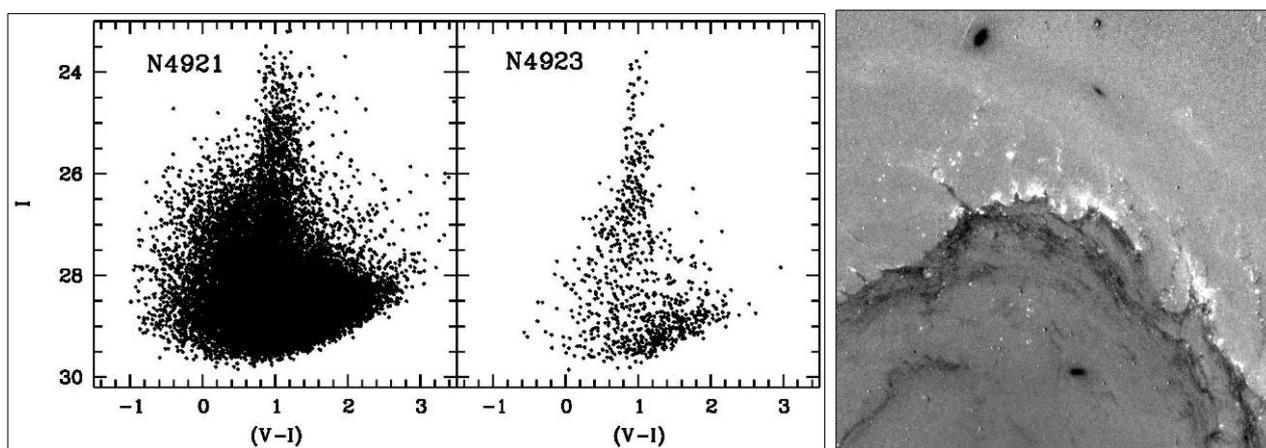


Рис. 14. Слева - диаграммы Гецшпрунга-Рессела звезд и скоплений галактик NGC 4921 и NGC 4923. Объекты диаграмм при $(V-I)=1$ являются шаровыми скоплениями. Справа - изображение областей звездообразования на западной окраине NGC 4921 полученное делением I и V снимков. Голубые звезды (молодые сверхгиганты) показаны белым цветом, а красные объекты - темным. Большинство очагов звездообразования расположено на концах длинных газопылевых волокон, протяженностью до 1.5 кпс. Направление волокон не проходит через центр NGC 4921 из-за дифференциального вращения галактики.

Изучен звездный состав спиральной галактики NGC 4921, принадлежащей скоплению Волосы Вероники, расположенному на расстоянии 100 Мпк. Определены расстояния до NGC 4921, а также до ее близкой соседки линзовидной галактики NGC 4923 (94 и 99 Мпк). Показано, что эти галактики образуют физическую пару. На периферии NGC 4921 найдены тонкие и протяженные (до 1.5 кпк) газопылевые волокна с областями звездообразования на концах этих волокон (рис. 14, слева). Металличность молодых звезд этих областей примерно равна металличности Солнца ($Z = 0.02$).

Н.А. Тихонов, О.А. Галазутдинова.

СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

СТРУКТУРА СКОПЛЕНИЙ A1035, A1775 С БИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ ГАЛАКТИК

Определена структура сложных скоплений A1035 и A1175. Средняя разница лучевых скоростей галактик в бимодальных скоплениях составляет 3000 км/с. Это может быть связано либо с гравитационным взаимодействием массивных скоплений при их столкновении по направлению близкому к лучу зрения, либо с эффектами проекции у не связанных между собой скоплений. Установлено, что скопление A1035 состоит из двух скоплений A1035 A ($cz = 20383$ км/с) и A1035 B ($cz = 23448$ км/с), не связанных между собой гравитационно. Для этих скоплений выполняется закон Хаббла. Скопление A1775 также состоит из двух независимых скоплений A1775 A ($cz = 19664$ км/с) и A1775 B ($cz = 22576$ км/с). Дисперсии скоростей для этих скоплений составляют 324 и 581 км/с. Определены их динамические массы. По спектральным и рентгеновским данным определена принадлежность известной радиогалактики (NVSS J134150+262223) с протяженным хвостом ($cz = 20812$ км/с) скоплению A1775B.

Исследование изменений свойств скоплений галактик в зависимости от их принадлежности к различным структурам дают понимание того, каким образом местонахождение скопления в крупномасштабной структуре может влиять на его физические свойства. Причиной вариаций могут быть различие доли темного вещества и/или горячего газа в скоплениях, различие темпов звездообразования в галактиках скопления, обусловленные особенностями формирования и динамики скоплений в разном окружении. Изучены свойства 44 скоплений галактик, расположенных в сверхскоплениях Leo ($z \sim 0.035$), Hercules ($z \sim 0.036$), Ursa Major ($z \sim 0.060$) и Corona Borealis ($z \sim 0.074$). Сверхскопления Her (10 скоплений) и CrB (8 скоплений) - более богатые системы. Были определены характеристики вириализованных областей скоплений, построены составные функции светимости всех галактик и отдельно галактик ранних и поздних типов. Галактики ранних типов были выделены по индексу концентрации (>2.6), вкладу балджа в полную светимость галактики (>0.8) и цвету u-g (в пределах 0.2^m от «красной последовательности» скопления). Имеется слабая тенденция к уменьшению доли галактик ранних типов с увеличением светимости скопления. Это может быть связано с более высоким темпом аккреции спиральных галактик из окружения более богатых (массивных) скоплений, которые еще не завершили свое формирование в настоящую эпоху. Скопления средней и малой светимости показывают большую вариативность свойств. Обусловлено ли это различным окружением - предмет для более детального изучения.

Ф.Г. Копылова и А.И. Копылов.

ФИЗИКА ЗВЕЗД

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ЗВЕЗД НА БТА

IRC+10216. Интерферометрия ближайшей к нам углеродной звезды IRC+10216 с угловым разрешением лучше 0.1" показала клочковатую и биполярную структуру оболочки в ближнем ИК-диапазоне. Мониторинг в 1999-2005 гг., перекрывающий 5 пульсационных периодов звезды, позволил проследить динамическую эволюцию внутренней части туманности. Скорость видимого перемещения пиков яркости в изображении IRC+10216 достигает 25 км/с, что в 1.5-2 раза выше предельной скорости истечения пыли и газа. Причиной таких быстрых изменений может быть испарение пыли в более плотной и горячей среде. Прямые наблюдения эволюции оболочки дают идеальную возможность для изучения потери массы на поздних стадиях жизни звезды на AGB. Геометрия оболочки показана на рис. 15.

Ю.Ю. Балега, Г. Вайгельт, Л.-Х. Хофманн и Д. Шертл (Германия), А. Меньшиков (Франция).

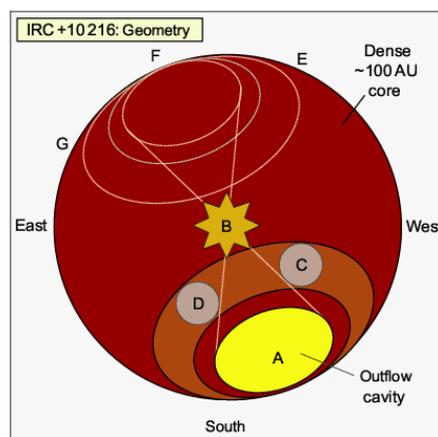


Рис. 15. Геометрия IRC+10216 по итогам спеклинтерферометрии на БТА. Углеродная звезда B находится в центре оболочки. В K-диапазоне она не видна. Самой яркой деталью изображения является направленная на нас южная полость конуса истечения A. Размер плотной центральной части оболочки достигает 100 пк.

GJ 795 (KUI 99) И GJ 900. Звезды с кратностью три и более составляют менее 20% населения Галактики. Особый интерес для проверки теории формирования, эволюции и динамической стабильности двойных и кратных звезд представляет изучение кратных систем с низкой степенью иерархии. Спеклинтерферометрические наблюдения таких двух близких тройных систем с низкой иерархией орбит проводились в различных спектральных диапазонах от 545 нм до 2200 нм. По наблюдениям с 1998 по 2005 гг. вычислены абсолютные звездные величины компонентов, определены спектральные классы компонентов тройных систем (рис. 16), а для GJ 795 (KUI 99) построены видимые орбиты подсистем и вычислены элементы орбиты.

Ю.Ю. Балега, И.И. Балега, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец, Д.А. Растегаев и З.У. Шхагошева, Г. Вайгельт (Германия).

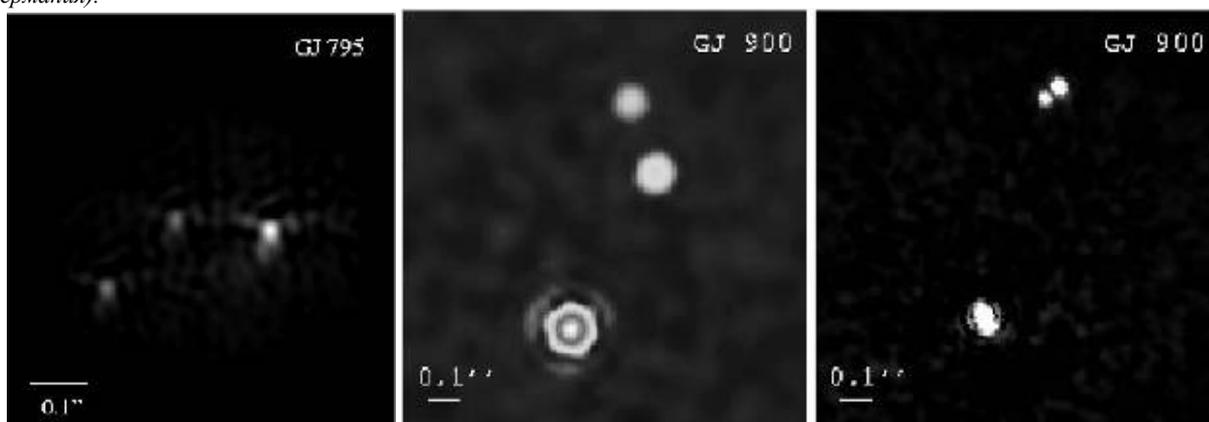


Рис. 16. Восстановленные изображения тройных звезд GJ 795 (KUI 99) и GJ 900. Тройная система GJ 900 показана в две эпохи: 2000 и 2005 гг.

G89-14. На расстоянии ~170 пк от Солнца обнаружена система из четырех гравитационно-связанных субкарликов. Объект уникален тем, что он оказался самой низкометаллической четверной звездой. Содержание железа в атмосферах четырех субкарликов $[Fe/H] = -1.9$, что примерно в 100 раз ниже солнечного. Система образовывалась в среде с низким содержанием металлов на ранних этапах эволюции Галактики более 10 млрд. лет назад. Мы оценили массы компонентов и орбитальные периоды внешних подсистем G89-14. Их соотношение указывает на высокую иерархичность и устойчивость системы. Полученная орбита движения G89-14 позволяет отнести ее к гало Галактики. Существование подобных систем доказывает способность звезд высокой кратности сохраняться в результате динамической эволюции в течение временных периодов, сравнимых со временем жизни нашей Галактики.

Д.А. Растегаев, Ю.Ю. Балега, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец, В.В. Дьяченко. ПАЖ, 35, 516 (2009).

θ^1 Ori C –ярчайшая звезды в комплексе звездообразования Трапеция Ориона. Установлено, что это пара горячих звезд с температурами фотосферы 40000 и 32000°K, которая вращается вокруг общего центра масс по сильно вытянутой орбите (эксцентриситет – 0.6) с периодом 11.3 года. Молодая система (возраст всего ~100 тысяч лет) является основным источником ионизирующего излучения в туманности. Ее компоненты имеют массы ~34 и ~15 M_{\odot} . Их светимости превышают светимость Солнца соответственно в 250 тысяч и 48 тысяч раз. Расстояние до системы составляет 1400 световых лет. Пара завершила один оборот по орбите с момента ее открытия в 1997 году на БТА. Полученные результаты имеют важное значение для теории формирования массивных звезд и их эволюции.

Ю.Ю. Балега, Е.В. Малоголовец, С. Краус (Германия) и др. A&A., 497, 195 (2009).

CP Cyg. CN Cyg является одной из наиболее ярких и тесных симбиотических звезд. Система состоит из холодного гиганта спектрального класса M7 и предположительно аккрецирующего белого карлика. Горячий компонент системы отличается высокой активностью, проявляющейся нерегулярными вспышками, которые сопровождаются истечением вещества с высокой скоростью и джетами. Изменения кривой блеска CN Cyg происходят на шкале от нескольких минут (мерцания во время активной фазы) до сотен суток (пульсация и вращение M-гиганта) и десятков лет (орбитальное движение компонент в системе, фазы активности). На БТА впервые получено изображение двойной системы с аккрецирующим белым карликом (рис. 17). Определены период движения по орбите в 15.6 лет и массы компонент: 2 и 0.7 M_{\odot} соответственно для красного гиганта и белого карлика. Коллимированные истечения газа из системы не совпадают с нормалью к плоскости орбиты двойной звезды.

Ю.Ю. Балега, Г. Вайгельт (Германия), Я. Миколаевска (Польша), К.-Х. Хофманн (Германия).

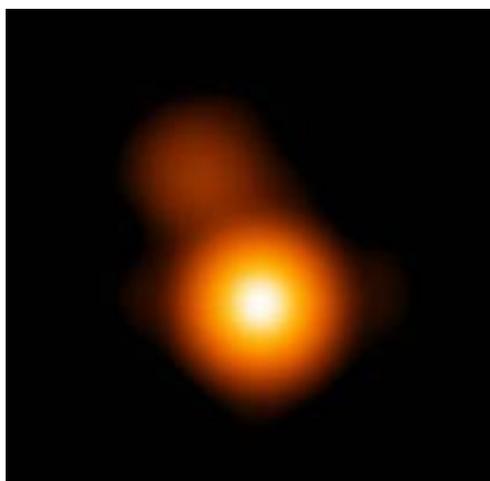


Рис. 17. Изображение (размер - 0.2") симбиотической пары CN Cyg в фильтрах $\lambda/\Delta\lambda = 600/40$ нм, восстановленные по спекл-интерферометрическим данным (БТА). Север - вверху, восток - слева.

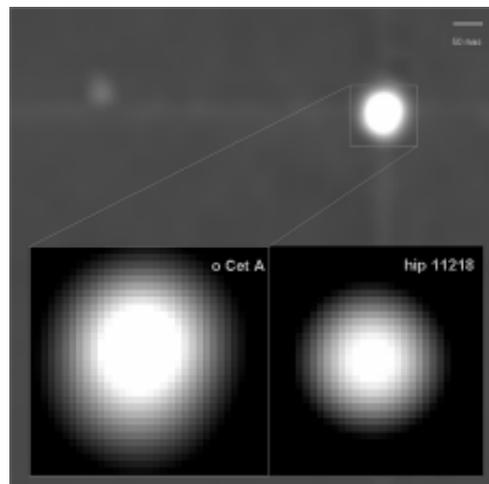


Рис. 18. Восстановленные изображения системы O Cet и увеличенное изображение Миры в сравнении с изображением опорной звезды (север внизу, восток слева).

Omi Ceti. Разрешена на компоненты система Omi Ceti одновременно с диском главной звезды (рис. 18). Измерены позиционные параметры, разность блеска между компонентами и диаметр o Cet. Наблюдения o Cet проводились в пяти фазах пульсации звезды для трех соседних циклов. Модель однородного диска дает вариации диаметра от 55.8 mas в фазе 1+0.78 до 66.3 mas в фазе 2+0.03. Измеренное угловое расстояние между компонентами 513.79 mas. Проекция линейного расстояния между компонентами составляет 67 а.е. Полученные оценки разности блеска между компонентами говорят в пользу принадлежности слабого компонента к звездам ГП.

В.В. Дьяченко, Ю.Ю. Балега, Д.А. Растегаев, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец.

МАГНИТНЫЕ ЗВЕЗДЫ. Важным направлением в области исследования магнитных звезд является изучение двойных и кратных систем с магнитными компонентами. Мы проводим программу исследования кратности магнитных звезд методом спекл-интерферометрии. Выполнены наблюдения (БТА) двойных и кратных систем из выборки 160 химически пекулярных Ap/Bp звезд с подтвержденными глобальными магнитными полями. Подтверждены спутники у 38 звезд. Некоторые кратные системы обнаружены впервые. На рис. 19 представлены восстановленные изображения новых двойных систем с магнитными компонентами. Вопреки современным представлениям, доля двойных и кратных магнитных звезд не отличается от их немагнитных аналогов.

Д.А. Растегаев, Ю.Ю. Балега, В.В. Дьяченко, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец, И.И. Романюк, Е.А. Семенко, И.А. Якунин.

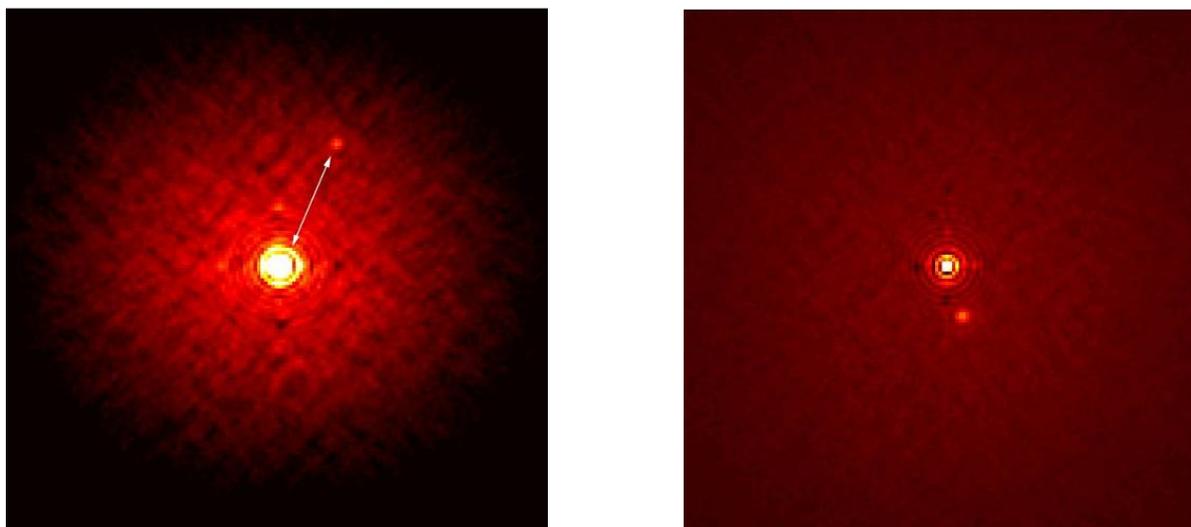


Рис. 19. Изображения открытых двойных звезд (БТА, спекл-интерферометрия) с магнитными компонентами: HD 64486 (слева), фильтр 800/100 нм, $\Delta t = 3.43 \pm 0.02$ mag, $\rho = 0''.350 \pm 0.002$, $\langle Ve \rangle = 855 \pm 513$ Гс и HD 103498 (справа), фильтр 800/100 нм, $\Delta t = 1.81 \pm 0.02$ mag, $\rho = 0''.138 \pm 0.001$, $\langle Ve \rangle = 333 \pm 138$ Гс. Кольца вокруг центральных компонент и пятнистая структура полей являются артефактами восстановления изображений.

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЗВЕЗДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

ПУЛЬСАР В КРАБОВИДНОЙ ТУМАННОСТИ. Впервые обнаружены вариации моментов прихода импульсов на шкале нескольких часов с амплитудой около 10 мкс и вариации формы кривой блеска на масштабе нескольких лет в различных спектральных полосах. Сравнение этого эффекта с известными по радионаблюдениям параметрами «временного шума» показывает его существенное превышение над ожидаемым, что может свидетельствовать о наличии отдельной (возможно, квазипериодической) компоненты шума на этих временах. Отметим, что изменяется форма главного и вторичного пиков кривой блеска, а также расстояния между ними. Возможными объяснениями этого феномена являются либо изменение диаграммы направленности пульсара в результате долговременной прецессии с периодом $\sim 560^d$, либо перестройка структуры магнитосферы в результате вековой эволюции свойств пульсара.

Г.М. Бескин, В.Г. де Бур, С.В. Карпов, В.Л. Плехотниченко, А. Бирюков (ГАИШ МГУ), А. Ширер (Ирландия). Astrophysics and Space Science, 308, 595 (2007).

МАСНО-1999-BLG-22. Для гравитационной линзы MASNO-1999-BLG-22 и кандидата в одиночные черные дыры получены верхние пределы для амплитуды оптической переменности объекта на временах 10^{-5} -1 с, интенсивности его рентгеновского излучения на уровне порядка $5 \cdot 10^{-15}$ эрг $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ в диапазоне 0.5-4.5 кэВ, а также для оптического блеска в фильтре I (от 19^m до 21^m в зависимости от отождествления объекта с одной из звезд в бленде). Отвергнута возможность того, что гравитационная линза является черной дырой с массой 130 M_{\odot} , расположенной на расстоянии 500 пк. По-видимому, черная дыра имеет массу 3-5 M_{\odot} и локализована в области балджа.

Г. Бескин, В. де Бур, С. Карпов, В. Плехотниченко.

РАДИОПУЛЬСАРЫ С СОБСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ. На основе анализа кинематических характеристик радиопульсаров разработан метод поиска радиопульсаров, которые являются возможными компонентами распавшихся двойных систем. Основная задача состояла в поиске мест их происхождения, где могут находиться как остатки родительских сверхновых, так и одиночные черные дыры – компаньоны пульсаров в распавшихся системах. Разработан метод анализа траекторий пульсаров для определения координат мест их рождения. Составлен каталог пульсаров с кинематическими характеристиками. Сопоставлены их возрасты и координаты возможных мест происхождения с возрастом известных остатков сверхновых. В выборке пульсаров с известными собственными движениями обнаружены шесть пар, которые возможно в момент рождения были гравитационно связаны.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов.

ЭВОЛЮЦИЯ ВРАЩЕНИЯ РАДИОПУЛЬСАРОВ. Статистический анализ свойств выборки из 297 одиночных радиопульсаров показал значимые корреляции (рис. 20) между величинами частоты и ее первой и второй производной, второй и первой производной. Полученные зависимости объясняются в предположении о циклических вариациях частот вращения пульсаров на временах в сотни-тысячи лет (много больших характерной длительности наблюдений) с амплитудами 10^{-5} -0.1 Гц. Построена количественная модель,

описывающая эволюцию вращения совокупности пульсаров вплоть до их выключения. Объясняется необходимость значительной коррекции стандартных оценок характеристических возрастов пульсаров и величин их магнитных полей по наблюдаемым значениям периодов и их первых производных. Исправленные значения возрастов некоторых молодых нейтронных звезд намного лучше согласуются с оценками времени жизни остатков вспышек сверхновых, уверенно ассоциирующихся с ними.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов, А. Бирюков (ГАИШ МГУ).

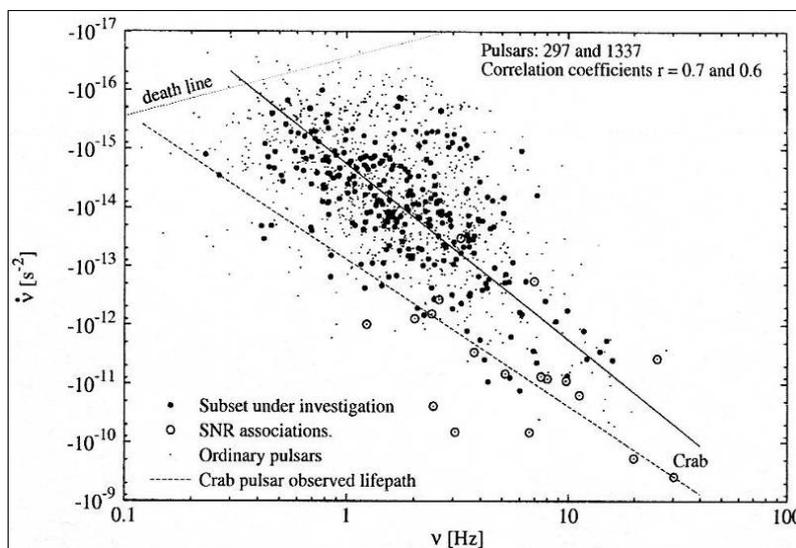


Рис. 20. Диаграмма «частота вращения – первая производная частоты вращения» для 297 изученных пульсаров (кружки) и 1337 изолированных радиопульсаров (точки). Сплошная линия – монотонный тренд с наилучшими параметрами модели.

КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКИ, СВЕРХНОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

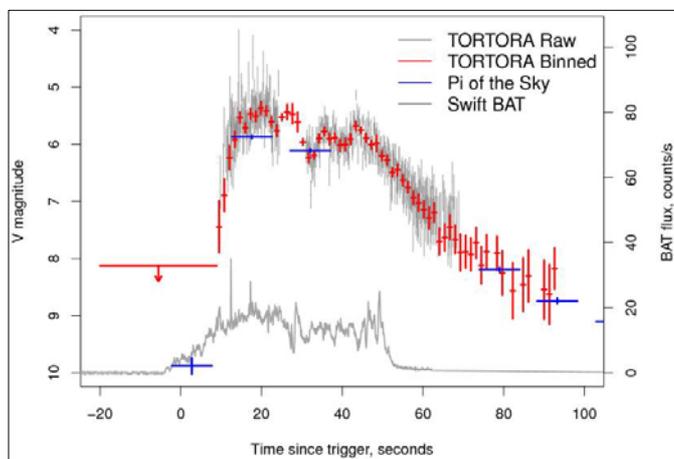


Рис. 21. Кривая блеска оптического транзиента, сопровождавшего GRB 080319B, по данным мониторинговой камеры высокого временного разрешения TORTORA в сравнении с результатами наблюдений космического гамма-телескопа Swift и камеры с широким полем зрения «Pi of the Sky» (Польша).

GRB 080319B. Впервые с высоким временным разрешением 0.13 сек. (рис. 21) проведены наблюдения оптического компаньона гамма-всплеска с помощью камеры с широким полем зрения TORTORA в течение всего интервала (~60 сек.) активности GRB 080319B. Кривые блеска в оптическом и гамма диапазонах коррелируют с коэффициентом 0.82 при запаздывании оптического излучения на 2 сек. Кривая блеска показывает 4 равноудаленных (~9 сек.) максимума, что может свидетельствовать о периодической активности «внутренней машины» гамма-всплеска. Оптическое излучение во время последнего пика также демонстрирует периодические (~1.12 сек.) колебания блеска с амплитудой ~10%. Столь быстрые вариации оптического блеска впервые обнаружены у астрономического объекта на космологическом расстоянии ($z = 0.937$). Полученные результаты не находят естественной интерпретации в рамках современных моделей гамма-всплесков. Они естественным образом объясняются в моделях генерации оптического излучения при остаточных столкновениях слоев, из которых состоит выброшенное вещество, в том числе при его существенной нейтронизации. Обнаруженная периодичность излучения в то же время свидетельствует о нестационарности аккреции вещества прецессирующего диска на сформировавшуюся в результате коллапса ядра массивной звезды черную дыру.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов, С. Бондарь (НИИПП), Г. Греко, К. Бартолини, Е. Молинари и др. (Италия). *Nature*, 455, 183 (2008).

ГАММА-ВСПЛЕСКИ С ИЗВЕСТНЫМИ КРАСНЫМИ СМЕЩЕНИЯМИ. Проведен статистический анализ характеристик гамма-всплесков с измеренными к концу 2009 г. красными смещениями в выборке из 220 объектов (для 120-ти из них построены кривые блеска послесвечений в R-полосе). Установлены высокосignимые связи между энергией и светимостью в гамма-диапазоне (коэффициент корреляции $r=0.8$), энергией послесвечения и его светимостью в момент обнаружения ($r=0.76$), этой светимостью и временем запаздывания относительно гамма-всплеска ($r=-0.79$). У 14 послесвечений, чьи кривые блеска имеют максимум, коэффициент корреляции максимальной светимости и красного смещения составил 0.95. Обнаруженный эффект свидетельствует, по-видимому, о космологической эволюции физических условий в областях галактик, где возникают гамма-всплески.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов.

GRB 060218. Проведен спектральный мониторинг оптического послесвечения самого близкого гамма-всплеска GRB 060218 с красным смещением $z=0.033$. В ранних спектрах (20, 21 февраля 2006 г.) оптического транзиента обнаружены детали, характерные для массивных сверхновых Ib-с типа. Абсорбция на длине волны $\sim 4600\text{\AA}$ (21 февраля) может быть результатом бленды линий железа (Fe II). В последнем спектре (27 августа) видна широкая бленда [OI] 6300, 6364 \AA , характерная для небулярной стадии сверхновых. «Длинные» гамма-всплески – это начало взрыва массивных сверхновых, и, скорее всего, в виде всплеска мы наблюдаем релятивистский коллапс ядра звезды и рождение очень плотного объекта.

GRB 060218/SN 2006aj и GRB 030329/SN 2003dh. Полученные на БТА спектры оказались в числе самых первых спектров двух самых близких GRB/SN-вспышек. Ультрафиолетовые избытки в ранних спектрах – это взаимодействие ударной волны со звездным ветром массивной звезды (выход ударной волны в сверхновых типа Ic). Была рассмотрена модель асимметричного взрыва GRB/SN прародителя. В ней предполагается, что несферический взрыв характерен для сверхновых всех типов. Однако пока остается невыясненным вопрос, генерируются ли взрывы звезды и гамма-вспышка одним и тем же механизмом. Сделан вывод, что хотя само явление гамма-вспышки необычное, но объект-источник не так уж и уникален. Чем ближе гамма-вспышка, тем больше признаков сверхновой звезды.

В.В. Соколов, Т.А. Фатхуллин, А. Кастро-Тирадо (Испания).

Наличие остатков массивной ветровой оболочки вокруг звезд-прародительниц сверхновых, связанных с гамма-всплесками, подтверждается нашим моделированием спектров двух сверхновых: SN 2008D – сверхновая и рентгеновская вспышка XRF 080109, и SN 2006aj – сверхновая и гамма-всплеск GRB/XRF 060218. Для линий, отождествленных как водородные и гелиевые, обнаружено согласование скоростей с эмпирическим степенным законом уменьшения скоростей со временем для оболочек классических массивных сверхновых. Решающим аргументом в пользу этой гипотезы может стать обнаружение P Сугг-профиля линии H β в спектрах оптических послесвечений гамма-всплесков.

А.С. Москвитин, В.В. Соколов, Т.А. Фатхуллин, Э. Сонбас (Турция), А.Х. Кастро-Тирадо (Испания).

МОНИТОРИНГ ДАЛЕКИХ МАССИВНЫХ СВЕРХНОВЫХ. Начата наблюдательная программа по изучению массивных сверхновых, в том числе и на больших красных смещениях. Особый интерес представляют сверхновые, отождествленные с гамма-всплесками. Данные используются для проверки существующих теоретических моделей, как самого взрыва сверхновой, так и окружающего околозвездного вещества. Для 12 транзиентных событий проведены наблюдения. Для SN 2009db, SN 2009de, SN 2009dy, SN 2009dw, SN 2009ew, SN 2009ji определены тип, фаза после максимума и красное смещение. Подтверждено открытие SN 2009bx и SN 2009cb. Завершено исследование небулярной фазы двух SN II типа (SN 2008gz и SN 2008in), проводится мониторинг еще четырех объектов (SN 2008iy, SN 2009ay, SN 2009bw, SN 2009de). Исследованы кандидаты в сверхновые для них впервые определены тип и расстояния.

А.С. Москвитин, В.В. Соколов, Т.А. Фатхуллин, В.Н. Комарова, А. Дрейк (США), Р. Рой (Индия), Д.Ю. Цветков (ГАИШ МГУ).

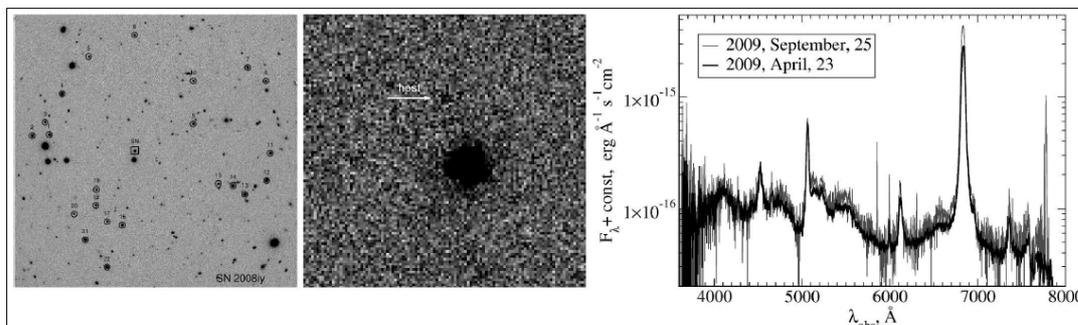


Рис. 22. Слева - область SN 2008iy, размер 5'x5', фильтр R_c (БТА); в центре - поле родительской галактики в фильтре r (SDSS); справа - спектры SN 2008iy (БТА/Scorpio), полученные 23 апреля (черная линия) и 25 сентября (серая линия) 2009 г. Красное смещение объекта $z = 0.041$ согласуется с данными, приводимыми в Miller et al. (2009).

SN 2008iy. Объект интересен тем, что спектры, полученные с интервалом около 5 месяцев, изменились очень мало (рис. 22). Возникает вопрос о природе этого объекта. На кривой блеска наблюдался рекордно длинный подъем продолжительностью около года, а после максимума – очень медленный спад. Активная фаза вспышки длится уже несколько лет. Решающим в разгадке природы объекта может быть обнаружение в спектре деталей, характерных для небулярной фазы SN.

SN 2008gz. Получены кривые блеска в полосах B, V, R, I. Болومترическая кривая блеска SN 2008gz сравнивалась с кривыми блеска SN этого же типа: SN 2004et и SN 1987A. Энергия взрыва SN 2008gz оказалась сопоставима с энергией SN 2004et. В спектрах, близких к максимуму, линии имели P Cуг-профили. Моделирование (многопараметрический код SYNOW) показало, что для более поздних спектров сильны ограничения кода: плохо описывается эмиссионная часть водородных профилей (рис. 23). Для построения кривых уменьшения скоростей оболочек и фотосферы SN 2008gz измерялось положение минимумов абсорбций.

А.С. Москвитин, В.В. Соколов, Т.А. Фатхуллин, В.Н. Комарова, Т.Н. Соколова, А. Валеев, Д.Ю. Цветков (ГАИШ МГУ), Р. Рой, Бриджеш Кумар, Брэджейш Кумар, Ш. Пандей (Индия), С. Бенетти (Италия) и др.

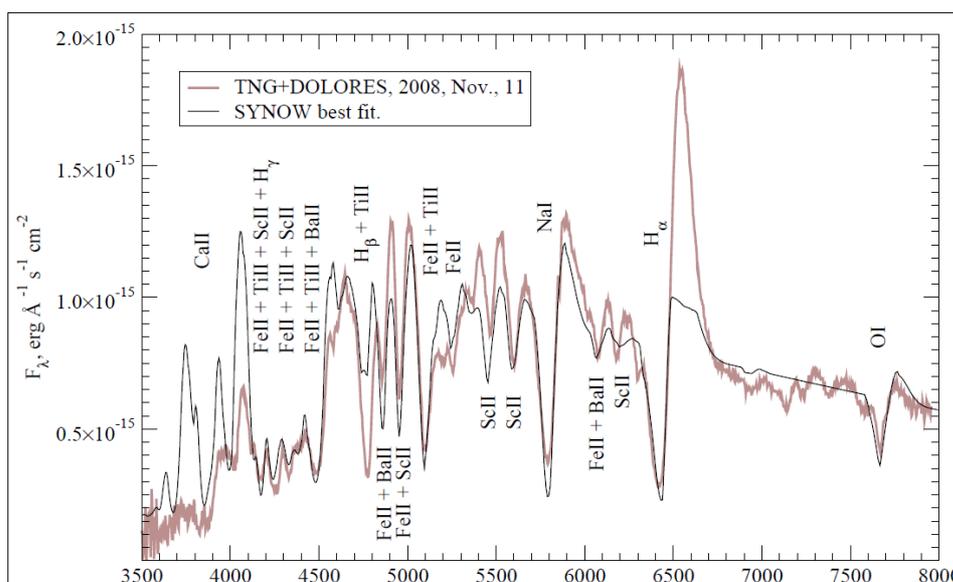


Рис. 23. Спектр SN 2008gz, полученный 11 ноября 2008 (TNG/DOLORES), обозначен толстой линией. Тонкой черной линией показана наилучшая подгонка модельным спектром.

GRB 070610. В рамках международного сотрудничества проведены наблюдения уникального события SWIFT 195509+261406 (GRB 070610). Сделан вывод о том, что в рамках модели одиночной нейтронной звезды удалось обнаружить и изучить аналог мягкого гамма-репитера (Soft Gamma Repeater, SGR) в активной фазе. Полагается, что данное событие представляет собой «мост» в шкале светимостей между известным классом SGR-событий, аномальных рентгеновских пульсаров (AXP) и слабыми изолированными нейтронными звездами. Впервые в оптике удалось наблюдать магнетар в активной фазе.

В.В. Соколов, Т.А. Фатхуллин, А. Кастро-Тирадо (Испания), Э. Сонбас (Турция). Nature, 455, 506 (2008).

ЗВЕЗДЫ НА ПОЗДНИХ СТАДИЯХ ЭВОЛЮЦИИ

ЗВЕЗДЫ ГАЛО. Получен атлас спектров для 4-х холодных малометаллических звезд в интервале металличности $-3.0 < [Fe/H] < -0.6$ и в спектральном диапазоне 3550-5000 Å (БТА/НЭС, разрешающая способность $R \geq 60000$ в интервале длин волн 3200-10000 Å). Атлас включает 29 спектральных фрагментов по 60 Å. Первоначальный список включал около 8100 линий. Опираясь на спектр Солнца, мы выделили около 860 неблендированных линий. Определены параметры моделей и рассчитаны содержания 25 химических элементов в атмосферах. Высокое качество спектров в ближнем УФ-диапазоне позволяет решать задачи космохронологии по линиям Th и Ag около 4019 Å. Атлас в полном объеме, список линий, их W_λ , атомные данные и результаты расчета содержаний доступны на <http://www.sao.ru/hq/ssl/Atlas-UV/Atlas-UV.html>.

В.Г. Клочкова, С.В. Ермаков, В.Е. Панчук, Г. Жао (Китай).

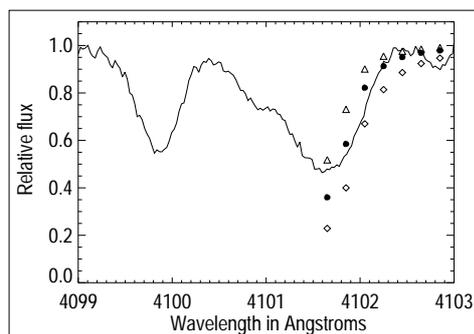
CGCS 6857 (IRAS 20000+3239) – типичная звезда на стадии post-AGB. Она является звездой высокой светимости спектрального класса G8Ia, имеет избыток ИК-излучения из-за присутствия bipolarной околозвездной туманности, в спектре звезды выделена эмиссия на длине волны 21 мкм. $B=16.13^m$, $V=13.39^m$. Отождествлены полосы молекул C₂ и CN. Получены параметры атмосферы. В целом, химсостав CGCS 6857 соответствует ожидаемому для звезды на post-AGB стадии. Значимый избыток тяжелых металлов,

синтезируемых за счет процессов нейтронизации, указывает на эффективность 3-го перемешивания и подтверждает статус post-AGB. Отсутствующий сверхдефицит легко осаждаемых на пылинках металлов (Ca, Sc) указывает на недейственность процессов селективной сепарации в оболочке звезды. Таким образом, CGCS6857 является новым малометаллическим членом небольшой группы богатых углеродом PPN с эмиссией 21 μ в ИК-спектре и избытком элементов s-процесса. Получено новое доказательство сильной корреляции между наличием деталей на 21 μ , полос молекул C₂ и избытком элементов s-процесса.

В.Г. Клочкова, Т. Кунпер (Эстония).

KS Per. Интерес к тесным двойным системам с большим дефицитом водорода связан с тем, что их считают предшественниками сверхновых типа Ia или Ib. Известно только четыре такие системы, включая и KS Per. Уточнены фундаментальные параметры и детальный химический состав. Звезда проэволюционировала настолько далеко, что водород в ее атмосфере почти полностью замещен гелием. Методом синтетических спектров мы определили H/He = 3*10⁻⁵ и металличность [Fe/H] = -0.8 dex. На рис. 24 представлен наблюдаемый профиль линии H δ в сравнении с теоретическим при различных отношениях H/He. Очень большой избыток азота [N/Fe] = 1.4 dex при дефиците углерода и кислорода соответствуют ожидаемым величинам для звезды на заключительных стадиях эволюции.

В.Г. Клочкова, Т. Кунпер (Эстония). Baltic Astronomy, 17, 195 (2008).



*Рис. 24. Профили линии H δ в спектре KS Per. Линией указан наблюдаемый профиль, значками нанесен теоретический профиль при вариациях содержания гелия: треугольники – H/He = 10⁻⁵, заполненные кружки – H/He = 2*10⁻⁵, ромбы – H/He = 5*10⁻⁵.*

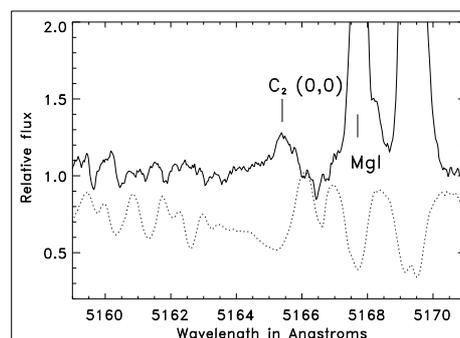


Рис. 25. Эмиссионная полоса Свана в спектре R CrB. Видны также эмиссии MgI, FeI, FeII. Сплошной линией обозначен спектр, полученный близко к минимуму блеска звезды, штриховой линией - в максимуму блеска.

R CrB. Получены 2 спектра звезды R CrB: первый в 2003г. - на нисходящей ветви, когда блеск звезды ослабел до 12^m, второй – при увеличении блеска до 7.5m. В спектрах присутствуют характерные для этого типа звезд узкие и широкие эмиссии. В первом спектре полоса системы Свана C2(0,0) наблюдается в эмиссии, во втором – в абсорбции (рис. 25). Несколько вращательных линий красной системы CN(5,1) и линии FeI с низким возбуждением обнаружены в абсорбции. Изучена сложная кинематическая картина в протяженной атмосфере и околозвездной оболочке звезды.

В.Г. Клочкова, Т. Кунпер (Эстония).

BD +48° 1220 = IRAS 05040+4820. Исследована спектральная переменность этой post-AGB звезды. В течение 3 лет наблюдений лучевая скорость BD +48°1220 менялась от -7 до +15 км/с. Методом моделей атмосфер определены T_{eff}=7900°K, log g = 0.0, ξ_t = 6.0 км/с и содержание 16 химических элементов. Металличность звезды мало отличается от солнечной. Основными особенностями химического состава звезды являются избыток гелия и кислорода, незначительный избыток углерода, пониженное содержание бария, измененное соотношение содержания легких металлов. Сделан вывод об эффективности механизма селективной сепарации химических элементов на пылинки оболочки. Совокупность данных позволяют отнести BD +48° 1220 к He- и O-rich post-AGB звездам в диске Галактики.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов, Н.С. Таволжанская, В.Е. Панчук. АЖ, 51, 642 (2007); Астрофиз. бюлл., 63, 112 (2008).

HD 56126 = IRAS 07134+1005 - общепризнанный объект на стадии перехода от асимптотической ветви гигантов к планетарной туманности. В спектре звезды в диапазоне 4012-8790Å отождествлено около полутора тысяч абсорбционных линий атомов и ионов, линий полос поглощения молекул, диффузных межзвездных полос, измерены их глубины и лучевые скорости V_r. Составлен атлас спектра HD 56126 и звезды сравнения α Per (Astroph. Bull., 62, с. 105, 2007). Выявлена сложная форма профилей сильных линий, формирующихся в оболочке, переменность профилей линий и лучевой скорости. По линиям металлов и молекулярным деталям обнаружены дифференциальные сдвиги линий. В атмосфере звезды одновременно присутствуют как расширяющиеся слои, так и слои, падающие на звезду. Положение молекулярного спектра стабильно во времени, что указывает на постоянную скорость расширения (по линиям C₂ и NaI) околозвездной оболочки HD 56126.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов, Н.С. Таволжанская, В.Е. Панчук. АЖ, 51б, 994 (2007).

V354 Lac. У PPN-кандидата переменной звезды V354 Lac, отождествляемой с источником IRAS 22272+5435, обнаружено расщепление самых сильных абсорбций (рис. 26), имеющих потенциалы возбуждения нижнего уровня ниже 1eV. Коротковолновый компонент расщепленных линий формируется в мощной газопылевой оболочке звезды. Обнаружена переменность профилей сильных абсорбций. Определены основные параметры модели и содержание 22 химических элементов в атмосфере звезды. Выявленные ранее сверхизбытки содержания химических элементов s-процесса (Ba, La, Ce, Nd) частично обусловлены расщеплением сильных линий ионов этих металлов. Особенности спектра в интервале, содержащем линию лития LiI 6707Å, получили объяснение при учете только избытка ионов тяжелых металлов CeII, SmII. Данные по лучевым скоростям за 15 лет наблюдений не показывают изменений поля скоростей в атмосфере и околозвездной оболочке.

В.Г. Клочкова, В.Е. Панчук, Н.С. Таволжанская. ПЖ, 35, 457 (2009); Астрофиз. бюлл., 64, 2, 155 (2009).

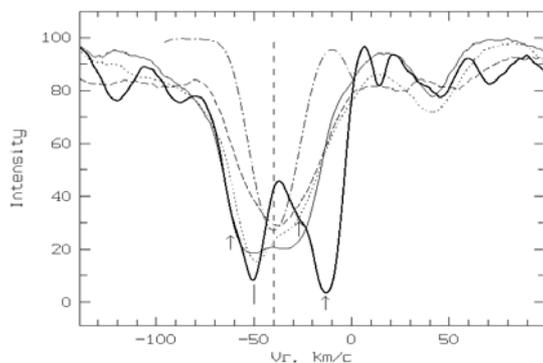


Рис. 26. Профили избранных линий в спектре V354 Lac. Сплошная жирная линия – NaD1, сплошная тонкая и пунктирная – BaII 6141 Å за две даты, штриховая – H α . Штрих-пунктирная – теоретический профиль NaD. Вертикальной штриховой линией нанесена системная скорость. Стрелками на наблюдаемом профиле NaD отмечено положение межзвездных компонентов.

V887 Her. Для post-AGB звезды и протопланетарной туманности V887 Her (IRAS 18095+2704) определены $T_{\text{eff}}=6500^{\circ}\text{K}$, $\log g=0.5$, металличность $[\text{Fe}/\text{H}]=-0.9$. Атмосфера звезды обогащена кислородом, а содержания углерода и тяжелых металлов s-процесса в дефиците. Параметры модели и содержания основных элементов совпадают в пределах ошибок с результатами первого исследования звезды (БТА). Систематические изменения лучевой скорости в атмосфере звезды и оболочке не обнаружены.

Т. Сахин и Д. Ламберт (США), В.Г. Клочкова, Н.С. Таволжанская.

ЗВЕЗДА N 12 В Cyg OB2. Выполнен спектральный мониторинг звезды экстремально высокой светимости из ассоциации Cyg OB2-№.12 (IRAS 20308+4104 и кандидат в LBV). Отождествлены более 200 спектральных деталей, включая межзвездные линии NaI, KI, многочисленные сильные полосы DIBs, а также линии HeI, CII, SiII. Спектральный класс объекта в системе МК - $B4.5\pm 0.5 \text{ Ia}^+$. Обнаружен градиент лучевой скорости в атмосфере, обусловленный падением вещества на звезду. В мощной эмиссии H α выделены широкие томсоновские крылья, простирающиеся до $\pm 1000 \text{ км/сек}$, а также обнаружена переменная во времени абсорбция в ядре, свидетельствующая о неоднородности звездного ветра, и слабая синесмещенная абсорбция типа P Cyg. Сделан вывод о переменности ветра Cyg OB2-№.12.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов, А.С. Мирошниченко (США).

V448 LAC. В 1998-2008 гг. продолжен анализ поведения профилей спектральных деталей и поля скоростей в атмосфере и околозвездной оболочке post-AGB звезды V448 Lac, оптического компонента IRAS 22223+4327 с большим избытком элементов s-процесса в атмосфере. Обнаружены асимметрия и переменность профилей сильнейших абсорбций с потенциалом возбуждения нижнего уровня $\chi_{\text{low}} < 1\text{eV}$. Пекулярность профилей можно объяснить суперпозицией звездных абсорбций и оболочечных эмиссий. В спектре выявлена эмиссия в полосе системы Свана (0;1) 5635Å. Найдена переменность лучевой скорости с амплитудой около 8 км/с. Переменность средней скорости, измеренной по слабым линиям металлов, может быть проявлением пульсаций атмосферы. Выявлены дифференциальные сдвиги линий, изменяющиеся в различные даты от 0 до 8 км/с. Положение молекулярного спектра стабильно во времени, что указывает на постоянство скорости расширения околозвездной оболочки, фиксируемой по линиям молекулы C $_2$ и дублета NaI ($V_{\text{exp}}=15.2 \text{ км/с}$).

В.Г. Клочкова, Н.С. Таволжанская, В.Е. Панчук.

ЗРур. По данным 1997-2008 гг. изучены особенности спектра и поля скоростей в атмосфере и оболочке пекулярного А-сверхгиганта ЗРур. Профили сильных линий FeII и других ионов группы железа в спектре звезды аномальны: крылья приподняты эмиссиями, а ядро заострено депрессией (рис. 62). Последняя особенность нарастает с усилением линии и увеличением длины волны. От спектра к спектру изменяются величина и знак асимметрии абсорбций и отношения интенсивности синей и красной эмиссий. Лучевые скорости для запрещенных эмиссий и резких оболочечных ядер абсорбций FeII(42), а также других сильных линий ионов группы железа меняются слабо. По слабейшим фотосферным абсорбциям, а также по фотосферным абсорбциям MgII, SiII уверенно фиксируется изменение скорости от даты к дате до 7 км/с. Значение спектрального класса A2.7 Ib. Оценена абсолютная величина $M_v=-5.5^m$, что приводит к оценке расстояния до звезды 0.7 кпк.

Е.Л. Ченцов, В.Г. Клочкова, А.С. Мирошниченко (США).

ЗВЕЗДЫ С НЕЯСНЫМ ЭВОЛЮЦИОННЫМ СТАТУСОМ

QY Sge. Пока нет согласия в определении статуса QY Sge. Наблюдения показали, что самой интенсивной и пекулярной деталью в спектре является D-линия NaI с узкими и широкими эмиссионными компонентами. В центральной части она прорезана абсорбцией с узким эмиссионным пиком, делящем последнюю пополам. Системная скорость $V_r = -21.1$ км/с соответствует положению узкой эмиссии NaI. Эмиссионные детали D-линий NaI формируются во внешних областях фотосферы сверхгиганта. Выявлены дифференциальные сдвиги линий. Эмиссия в линии H_α слабее, чем в D-линиях NaI, она почти полностью заливает фотосферную абсорбцию. Определены параметры QY Sge. Химический состав незначительно отличается от солнечного. Элементы α -процесса имеют небольшой избыток. Содержание элементов s-процесса несколько ниже солнечного. Большой избыток натрия, вероятно, является следствием выноса в атмосферу вещества, переработанного в NeNa-цикле. В целом, наблюдаемые свойства QY Sge не позволяют отнести ее к звездам типа R CrB или RV Tau.

В.Г. Клочкова, В.Е. Панчук, Е.Л. Ченцов, М.В. Юшкин. Астрофиз. бюлл., 62, 217 (2007).

V2324 Cyg = IRAS 20572+4919. Выполнен спектральный мониторинг (1995-2006 гг.). Объект считают кандидатом в прото-планетарную туманность (PPN). Определены спектральный класс F0III и скорость вращения звезды $V \cdot \sin i = 69$ км/с. Линии нейтрального водорода и D-линии NaI в спектре имеют сложный профиль типа P Cyg. Среднее значение гелиоцентрической лучевой скорости $V_r = -6.8$ км/с. Скорости по ядрам абсорбционных компонентов ветровых линий H_α и NaI колеблются в интервале от -140 до -225 км/с, а скорости расширения соответствующих слоев от 120 до 210 км/с. Максимальная скорость расширения получена по синему компоненту расщепленной абсорбционной линии H_α и составляет 450 км/с. Определены параметры и солнечная металличность. Основной особенностью химического состава звезды является избыток лития и натрия. Принадлежность V2324 Cyg к post-AGB звездам поставлена под сомнение.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов, В.Е. Панчук. Астрофиз. бюлл., 63, 112 (2008).

BD -6° 1178 (IRAS 05238-0626). Этот объект считается вероятным кандидатом в PPN. По спектрам высокого разрешения впервые обнаружена спектральная двойственность (SB2) этой звезды. Компоненты имеют близкие спектральные классы и светимости F5IV-III и F3V. Профили линий нейтрального водорода имеют сложную форму с эмиссионным компонентом. Скорости вращения обеих звезд близки. Не подтверждена классификация объекта как сверхгиганта на стадии перехода к планетарной туманности. Вероятно, BD -6° 1178 является молодой звездой до главной последовательности (ГП). Не исключено ее членство в подгруппе 1c ассоциации Ori OB1.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов. Астрофиз. бюлл., 63, 272 (2008).

IRAS 00470+6429. Для определения эволюционного статуса этой горячей звезды, имеющей параметры как у маломассивных сверхгигантов на стадии PPN, в 2003-2008 гг. проведены наблюдения с использованием телескопов нескольких обсерваторий. Оптический спектр звезды является эмиссионным с V[e]-феноменом, большинство линий имеют профиль типа P Cyg. Выявлена переменность блеска звезды и переменность профилей спектральных деталей (рис. 27). Звезда является двойной системой на расстоянии ~ 2 кпк от Солнца. Ее первичный компонент является звездой B2-B3 высокой светимости, а вторичный компонент - холодная звезда. С большей вероятностью звезда является членом ассоциации CasOB7 и относится к массивным звездам типа FSCMa, а не к протопланетарным туманностям.

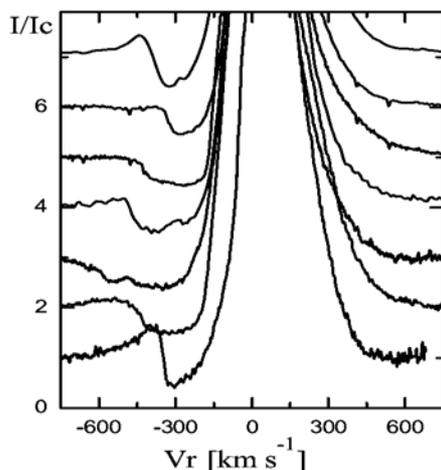


Рис. 27. Вариации абсорбционного компонента H_α в спектрах оптического компонента источника IRAS 00470+6429 по данным, полученным в 2003-2008 гг.

А.С. Мирошниченко (США), Е.Л. Ченцов, В.Г. Клочкова, С.В. Жариков (Мексика) и др. ApJ, 700, 209 (2009).

ОБЛАСТЬ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ SH2-235. Исследованы 8 OB звезд комплекса. Выделяются широкие линии HI, HeI 5876 и 6678 Å. В спектрах ряда звезд линии водорода имеют профили типа P Cyg.

Асимметрия профилей линий гелия, скорее всего, связана с наличием сильного звездного ветра. Лучевые скорости двух звезд получены с точностью, достаточной для оценки скорости движения звезды относительно молекулярного газа. Для S235 движение звезды слабо влияет на окружающий газ, поскольку их скорости практически равны. У S233 звезда с сильным звездным ветром влетает в молекулярное облако. Определены спектральный класс и светимость звезды, образующей зону ионизации S233. Профиль эмиссионной линии H_{α} компактного звездного объекта S235B* имеет два пика с более слабым красным компонентом (рис. 28). Оценена скорость аккреции вещества из околозвездной оболочки и установлен спектральный класс B1V (тем самым S235B* принадлежит к редкому типу объектов H β -звезд ранних классов). Сравнение профиля линии H_{α} с данными 70-х годов дает основание заподозрить спектральную переменность, поскольку за 30 лет отношение интенсивностей синего и красного эмиссионного пика увеличилось примерно в два раза.

П.А. Болей, А.М. Соболев, В.В. Крушинский (УрГУ, Екатеринбург), Р. ван Бойкель, Т. Хеннинг, А.В. Мусеев, М.В. Юшкин. *MNRAS*, **399**, 778 (2009).

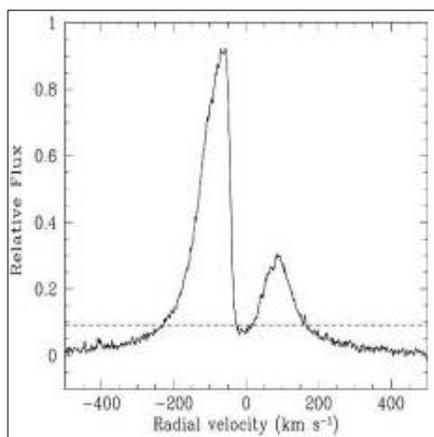


Рис. 28. Профиль линии H_{α} в спектре S235B*.

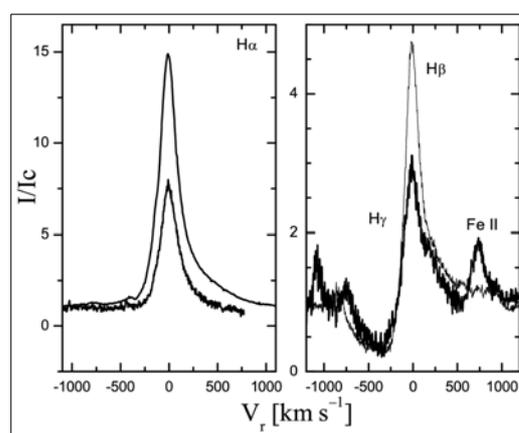


Рис. 29. Фрагменты спектров звезды V645Cyg.

V645 Cyg (IRAS 21381+5000B). На рис. 2968 показаны обнаруженные вариации профилей линий H_{α} , а также пекулярность профилей FeII, H_{γ} и H_{β} . Полученные результаты указывают на то, что V645 Cyg является массивной очень молодой В-звездой высокой светимости, окруженной геометрически тонким и оптически толстым околозвездным диском.

А.С. Мирошниченко (США), К.-Ч. Хоффман, Д. Шертль, Г. Вайгельт, С. Краус (Германия), Ю.Ю. Балега, В.Г. Клочкова, Р.Дж Руди, Д.К. Линч, С. Мазук, С.С. Вентури, Р.В. Рассел, К.Т. Гранкин, Р.С. Пьюте, Р. Пьерри. *A&A*, **498**, 115 (2009).

НОВЫЕ И НОВОПОДОБНЫЕ ЗВЕЗДЫ

V723 Cas. Медленная классическая новая V723 Cas, открыта в августе 1995 г. и достигла максимума блеска 17 декабря. 31 января 2006 г. она была обнаружена в рентгеновском диапазоне на Swift. Это оказался сверхмягкий рентгеновский источник (SSS) с чернотельной температурой 340000 К. Наличие SSS означает, что термоядерное горение богатого водородом вещества происходит прямо на поверхности белого карлика, и излучение такого источника мы видим напрямую без поглощения в оболочке.

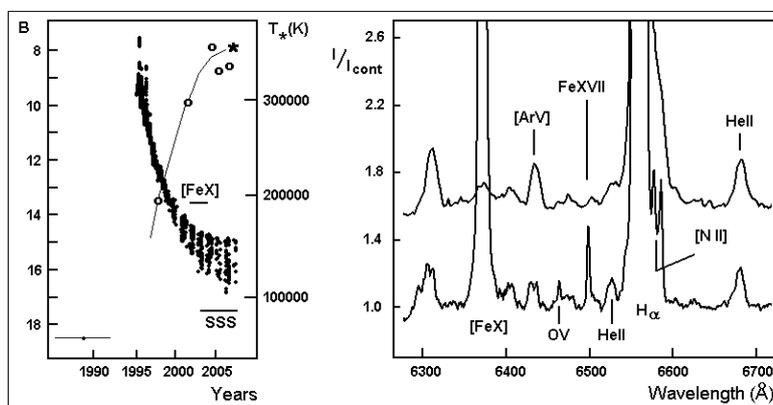


Рис. 30. Слева – кривая блеска V723 Cas в фильтре B (точки). Увеличение разброса точек связано с увеличением амплитуды орбитальной периодической переменности. Температура поверхности белого карлика – кружки и тонкая линия, звездочкой отмечено измерение на обсерватории Swift. Отмечены время усиления эмиссии [FeX] и фаза SSS. Горизонтальная линия внизу – уровень блеска звезды до вспышки. Справа – фрагмент спектров BT/UGS в даты 23.01.2001 (вверху) и 02.08.2003 (внизу).

Получены данные, которые показывают изменения, связанные с появлением SSS. На фоне постепенного ослабления небулярных эмиссий разреженной оболочки между декабрем 1997 г. и июлем 2004 г. эмиссия HeII 4686Å усилилась в 3.6 раза по отношению к H β , что соответствует повышению температуры поверхности белого карлика от 195000 до 340000 К (рис. 30, слева). Появилась корональная линия [Fe X] на 6375Å, причем ее поток увеличился на порядок между январем 2001 г. и августом 2003 г. Линия имеет двугорбую структуру и формируется в расширяющейся оболочке. В августе 2003 г. в спектре появились необычные узкие линии, которые ранее у новых не наблюдались. Они сформировались вне оболочки. Линии 6466.4 и 6500.5Å, возможно, принадлежат ионам OV и FeXVII (рис. 30, справа). Фаза SSS у V723 Cas началась еще во второй половине 2003 г. В 2003 - 2006 гг. заметно уменьшилась скорость падения блеска. Фаза SSS у классических новых обычно сопровождается замедлением или остановкой падения блеска – плато на кривой блеска. Вероятно, этот феномен мы наблюдаем и у V723 Cas последние 3 года. Здесь уровень плато находится всего на 3^m выше уровня спокойного блеска до вспышки.

Е.А. Барсукова, С.Н. Фабрика, Н.В. Борисов, А.Н. Буренков, В.П. Горанский и Н.В. Метлова (ГАИШ МГУ).

CI Cam (ХТЕ J0421+560 В кривой блеска доминируют две волны с периодами 0.4152^d и 0.2667^d и полными амплитудами 0.019^m и 0.017^m. При высоком спектральном разрешении в профилях слабых линий He на разных лучевых скоростях видны узкие абсорбционные компоненты, что характерно для пульсирующих звезд. Показано, что причиной быстрой переменности являются пульсации звезды класса В4 III-V. Подобные пульсации часто встречаются у В-звезд, которые связаны с формированием газовых дисков. Но у звезд с В[e]-феноменов пульсации ранее не наблюдались. Их открытие у главного компонента CI Cam важно как для изучения его внутреннего строения, так и для понимания формирования газовых и пылевых дисков у горячих звезд.

Е.А. Барсукова, В.П. Горанский (ГАИШ МГУ).

V838 Mon. Проведены наблюдения в 2004-2008 гг. До вспышки в 2002 г. система состояла из двух горячих звезд класса В3V, причем взорвалась более яркая компонента. История взаимодействия звезд в этой системе, представлена на рис. 31. Из-за сближения оболочки вспыхнувшей звезды со спутником и ионизации разреженного газа перед фронтом оболочки наблюдаются слабые запрещенные линии [FeII] в конце 2004 г. В 2006 г. эмиссионный спектр усиливается, появляются разрешенные линии FeII, бальмеровские линии водорода и других элементов, т.е. горячая звезда пришла в соприкосновение с плотным газом расширяющейся оболочки.

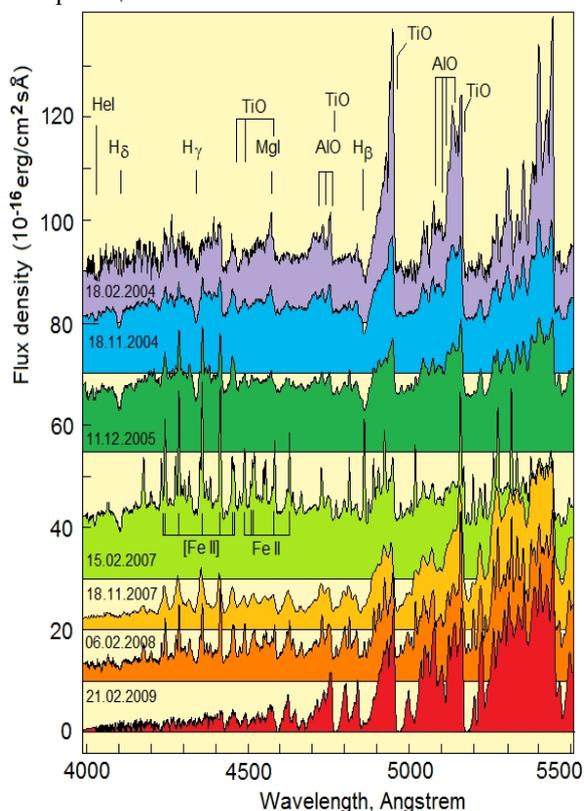


Рис. 31. Спектральная эволюция V838 Mon после взрыва (сверху вниз). Отождествлены абсорбционные линии He и H горячей звезды, канты молекулярных полос AlO и TiO холодного остатка взрыва, эмиссии горячего ионизованного газа [FeII] и FeII, и интеркомбинационная линия холодного газа MgI. В диапазоне 4000-5000 Å виден переменный вклад непрерывного спектра горячей звезды класса В3V.

В декабре 2006 - январе 2007 г. горячий спутник исчез полностью из спектра на 70 дней из-за холодного газа, который перекрыл излучение в направлении наблюдателя. При этом эмиссионный спектр не стал слабее. Это явление связано с формированием аккреционного диска около горячей звезды в ее полости Роша. На этот

момент радиус остатка вспышки, а значит, и расстояние между компонентами в системе оценивался в $30000 R_{\odot}$ (150 а.е.). Радиус горячей звезды составляет $5-7 R_{\odot}$. В феврале 2007 г. свет горячей спутника появился в спектре звезды. Однако с осени 2007 г. вклад горячей звезды и эмиссионного спектра в общее распределение энергии опять значительно снизился. Точная фотометрия в это время показывала быструю переменность в коротковолновом диапазоне. Причиной ее, полагаем, было движение горячей звезды сквозь верхние слои оболочки сверхгиганта. Фотометрия с октября 2008 г. уже не обнаруживала горячую звезду. В спектре виден только один холодный сверхгигант класса M9. Горячий спутник оказался внутри оптически толстой оболочки холодного сверхгиганта. Возможно, через некоторое время оболочка сверхгиганта станет все-таки прозрачной из-за продолжающегося расширения.

Е.А. Барсукова, С.Н. Фабрика, А.Ф. Валеев, В.П. Горанский, А.В. Жарова, Н.В. Метлова и С.Ю. Шугаров (ГАИШ МГУ).

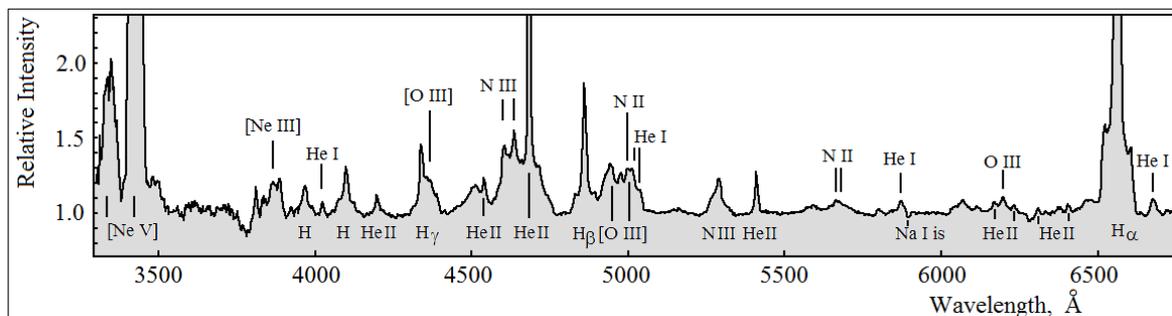


Рис. 32. Спектр новой KT Eri (Цейсс-1000/UAGS), полученный 22 января 2010 г. Отождествлены линии атомов и ионов химических элементов.

KT Eri. Новая KT Eri относится к подклассу гелиево-азотных (He/N) классических новых. На 66-й день после максимума блеска было зарегистрировано (Swift, Chandra) появление SSS. Спектры KT Eri были получены на 3-й и 4-й день после начала фазы SSS. В УФ области спектра наблюдаются сильнейшие широкие запрещенные линии неона, излучаемые оболочкой. Редкая особенность спектров: одновременное присутствие широких эмиссионных линий выброшенной оболочки и узких линий, формируемых в разогретой рентгеновском излучением системе. Так сильные эмиссии водорода H_{α} и H_{β} , а также эмиссия ионизованного гелия He II 4686 \AA имеют одновременно широкие компоненты оболочки и узкие компоненты карликовой системы (рис. 32). Скорость разлета вещества оценена в 2700 км/с . Вещество аккреционного диска и звездного ветра двигаются от белого карлика со скоростью 600 км/с . Температура термоядерного горения на поверхности белого карлика составляет 4400000°K .

Е.А. Барсукова, А.Н. Буренков, В.П. Горанский и Н.В. Метлова (ГАИШ МГУ).

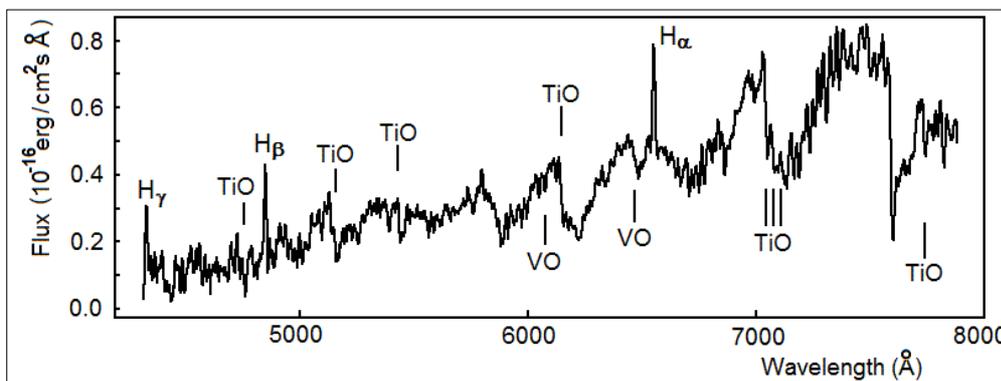


Рис. 33. Спектр [HBS2006] 40671 (БТА/ SCORPIO), полученный 9 октября 2009 г. около максимума блеска.

[HBS2006] 40671. Проведено уточнение природы кандидата в новые звезды в M33. Спектральный класс звезды оказался M2e - M3e (рис. 33). Амплитуда изменения блеска доходит до 7^m в фильтре R, а период составляет 665^d . Это один из самых больших периодов из всех известных мирид. Звезда оказалась первой спектрально подтвержденной миридой в галактике M33. Оказалось, что [HBS2006] 40671 попадает в зону AGB-звезд с экстремальными параметрами. Звезда имеет массу $\approx 4 M_{\odot}$, избыток светимости $\approx 0.35^m$. Наблюдаемый сдвиг лучевых скоростей звезды и узкой эмиссионной линии H_{α} объясняется звездными пульсациями и ударными волнами в расширяющейся атмосфере, является типичным для водородной эмиссии в спектрах мирид. Все экстремальные свойства новой мириды делают ее важным объектом для исследований кратковременной стадии эволюции звезд AGB.

Е.А. Барсукова, С.Н. Фабрика, О.Н. Шолухова, А.Ф. Валеев, В.П. Горанский (ГАИШ МГУ), К. Хорноч (Чехия), В. Питч (Германия).

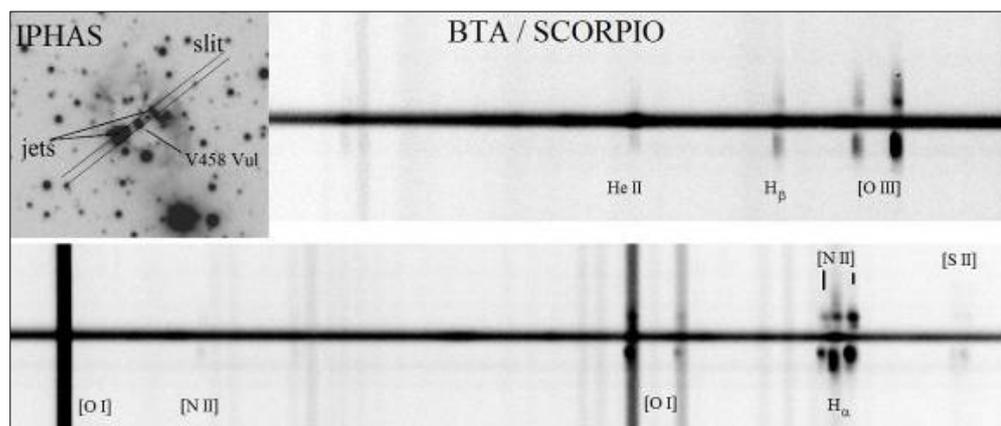


Рис. 34. Фрагменты спектра V458 Vul, полученного 9 июня 2010 г. Слева сверху – изображение планетарной туманности в эмиссии H_α , указаны положения щели камеры (slit) и струй (jets). Также приведены спектр новой и струй.

V458 VUL. Новая Лисички 2007г. в трех максимумах блеска звезда показывала обычный спектр классической новой подкласса FeII. Скорость сброса оболочки была 1500 км/с. Новая проявилась как источник SSS (Swift) с температурой 330000°K. Спектры объекта в стадии SSS показали полное отсутствие ионов железа как низкого, так и высокого возбуждения, и новая оказалась подкласса He/N. Такая смена подкласса еще не наблюдалась ни у одной классической новой. Объект является ядром планетарной туманности, что подтверждено данными IPHAS еще до вспышки. Прежде вспышка ядра планетарной туманности как новая не наблюдалась. Туманность состоит из двух полярных противоположно направленных струй различной яркости и слабого экваториального кольца (рис. 34, слева сверху). Детали струй (рис. 34) видны в монохроматическом свете в разных эмиссионных линиях по обе стороны от спектра новой. Предполагается, что туманность сформировалась не из-за предыдущего взрыва новой, а в результате эволюции одного из компонентов, сопровождавшейся сбросом оболочки. Масса белого карлика превосходит солнечную. Поэтому V458 Vul считается возможным кандидатом в сверхновые типа Ia.

Е.А. Барсукова, А.Н. Буренков, Т.А. Фатхуллин, В.П. Горанский и Н.В. Метлова (ГАИШ МГУ), В.Я. Соловьев (КГУ). *Astronomer's Telegrams* No.1631 и 2670.

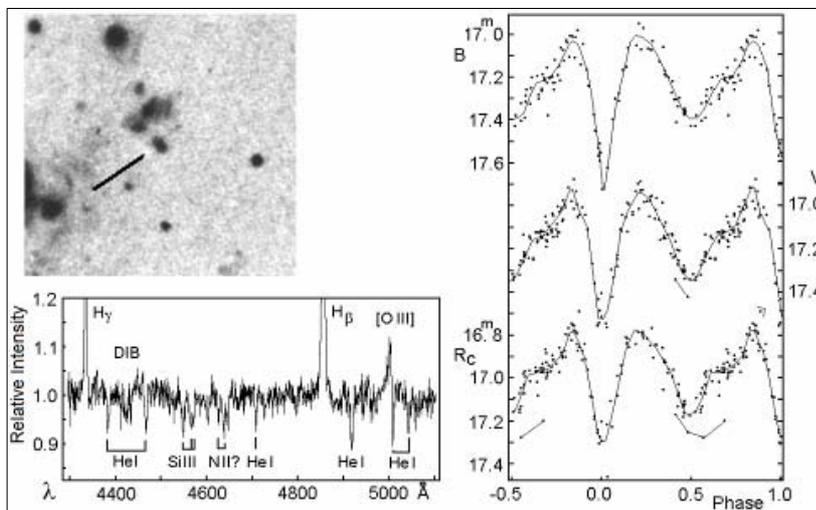


Рис. 35. Слева сверху - снимок $H_\alpha 19$ в линии H_α 6563Å 9 сентября 1980 г. (BTA). Слева внизу – фрагмент спектра $H_\alpha 19$, полученного 8 сентября 2005 г. (BTA/SCORPIO). Справа – кривые блеска $H_\alpha 19$, построенные в зависимости от фазы орбитального периода 33.108^d в синих, желтых и красных лучах (сверху вниз).

$H_\alpha 19$ в M33 – затменная система (Фабрика и Шолухова, 1995; Шаров и др., 1997) с орбитальным периодом 33.108^d, состоящая из ОВ-звезд высокой светимости, ассоциируется с областью III с биполярным истечением размером 30 пк (рис76). Кривая блеска показывает, что в системе имеется третий источник света, возможно, горячее пятно аккреционного происхождения. Моделирование кривой блеска с толстым аккреционным диском и протяженным по структуре горячим пятном на его краю удовлетворительно представляет кривую блеска. Эта модель предполагает присутствие компактного компонента большой массы, но наблюдения не обнаружили рентгеновского излучения от него. При мониторинге этой системы в 2001-2010 гг. обнаружено множество слабых абсорбционных, характерных для звезд класса O высокой светимости (рис. 36, внизу

слева). На кривых блеска в фазе 0.85 перед главным затмением виден горб, который заметен и сразу после затмения (рис. 36, справа). Он формируется ярким протяженным пятном на поверхности компонента более высокой температуры и светимости. Яркость этого пятна в видимом диапазоне $25000 L_{\odot}$, а светимость всей системы $130000 L_{\odot}$. Массы компонентов системы столь высокой светимости могут быть в пределах 40-50 M_{\odot} . Очевидно, $H_{\alpha}19$ – система с большим темпом переноса массы между компонентами, которая находится в стадии слияния компонентов. Природа горячего пятна, возможно, связана с циркуляцией вещества в оболочке горячего компонента, которая вызвана аккреционным течением, в результате чего очень горячее вещество из глубоких слоев оболочки звезды выносится на поверхность. Мы наблюдаем редкое явление слияния массивных сверхгигантов, в результате которого в будущем образуется звезда экстремальной массы.

Е.А. Барсукова, В.П. Горанский (ГАИШ МГУ).

СПЕКТР НОВОПОДОБНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ LW CAS

LW Cas – новоподобная переменная. Наблюдения на БТА (SCORPIO) показали, что спектр содержит линии поглощения водорода, триплета MgI и дублета NaI D. Линия NaI с эквивалентной шириной 9 \AA наиболее сильна. Профиль линии H_{α} типа P Cug. Все линии поглощения имеют голубое смещение. Наблюдается поглощение в G-полосе. Видны эмиссии [OI], OII и [SII], также смещенные в голубую сторону. В спектре LW Cas не обнаружена звезда спектрального класса A0III, которая была обнаружена ранее в ИК-диапазоне (Коэн, 1980); иначе линии бальмеровской серии были бы хорошо видны в синем диапазоне спектра. Спектр хвоста оказался в основном абсорбционным, в эмиссии видна только слабая линия [OI]. В щель попадает излучение светлой туманности из комплекса IC 1848-S6. По эмиссиям H_{α} , [NII] и [SII] скорость газовой составляющей этого комплекса в направлении на LW Cas составляет 40 км/с. Видны также слабые диффузные межзвездные полосы поглощения. Возможно, спектр LW Cas формируется в плотном, расширяющемся со скоростью 200 км/с газовом гало, окружающем звезду. Не исключено также, что LW Cas имеет такую большую пекулярную скорость 200 км/с относительно комплекса из-за того, что выброшена из кратной системы в результате динамического взаимодействия компонентов.

Е.А. Барсукова, А.Ф. Валеев и Т.А. Фатхуллин, В.П. Горанский (ГАИШ МГУ). Переменные звезды, 28, No.11, 1 (2008).

МАГНИТНЫЕ ЗВЕЗДЫ

HD187474 и HD201601. По программе исследования магнитных полей звезд с большими периодами вращения ($P > 25^d$) исследована звезда HD187474, вращающаяся с периодом $P = 2345^d$. Мы хотели проверить гипотезу о том, что торможение звезд на ранних стадиях эволюции происходит сильнее в том случае, если ось диполя и ось вращения совпадают. Оказалось, что структура магнитного поля звезды лучше всего описывается моделью смещенного из центра звезды диполя на величину 0.1 радиуса и осью диполя, наклоненной к оси вращения на угол $\beta = 24^{\circ}$. Вследствие смещения диполя величина магнитного поля на полюсах разная: $B_p = +6300$ и -11600 гаусс. Также исследована звезда HD201601 с периодом вращения около 80 лет. Наблюдательные данные лучше всего описываются моделью центрального диполя с углом $\beta = 85.5$. Величина поля на полюсах $B_p = 6000$ гаусс. По данной программе исследовано 8 звезд. Ориентация диполей – произвольная. Непараллельность осей вращения у всех исследованных медленных ротаторов является признаком отсутствия торможения CP-звезд на стадиях эволюции до ГП. Делается предварительный вывод, что медленное вращение «досталось» CP-звездам от протозвездных облаков.

Ю.В. Глаголевский.

HD220825 (κ Psc). Эта CP-звезда имеет поле меньше 100 гаусс, хотя обычно величина магнитного поля химически пекулярных звезд составляет несколько тысяч гаусс. Однако химсостав в среднем соответствует звездам с сильным полем. Сделан вывод, что не только магнитное поле влияет на аномалии химсостава. Существует еще один какой-то механизм, который способствует ослаблению турбулентности и возникновению диффузии химических элементов. Можно предположить, что это медленное вращение. Действительно, микротурбулентная скорость у этой звезды близка к нулю.

Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов, И.Х. Илиев и И.К. Статева (Болгария).

HD37058, 212454, 224926. Эти He-w звезды, несмотря на слабость поля, обладают сильной аномалией химсостава, соответствующей звездам с сильным полем. Также сделан вывод, что слабая микротурбулентность возникает вследствие медленного вращения. На зависимости $v^* \sin i$ от массы звезды с сильным и слабым полем не показывают никакой зависимости от магнитного поля. В данном случае мы снова показываем, что магнитное поле не влияет на потерю момента вращения CP-звезд. Медленное вращение досталось от протозвездных облаков.

Ю.В. Глаголевский, В.В. Леушин, Г.А. Чунтонов.

HD 21699. Определено распределение гелия и кремния по поверхности HD 21699. Содержание гелия низкое, но в области магнитных полюсов его больше, предположительно из-за влияния ветра. Кремний скапливается в области с горизонтальным расположением магнитных силовых линий, что совпадает с теоретическими расчетами. Содержание гелия и кремния увеличивается с глубиной, причем практически не изменяется с

фазой вращения. Учет стратификации химических элементов заметно влияет на модельное распределение температуры с глубиной, а также на форму профилей линий водорода. Поле этой He-w звезды имеет два близко расположенных друг к другу магнитных пятна разной полярности. Расстояние между полюсами составляет $\sim 50^\circ$. Такая необычная конфигурация магнитного поля могла возникнуть из-за сдвига диполя поперек своей оси к поверхности звезды на половину ее радиуса. Сдвиг мог произойти из-за аккреции больших масс на ранних стадиях эволюции звезды.

Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов, А.В. Шаврина (Украина) и др.

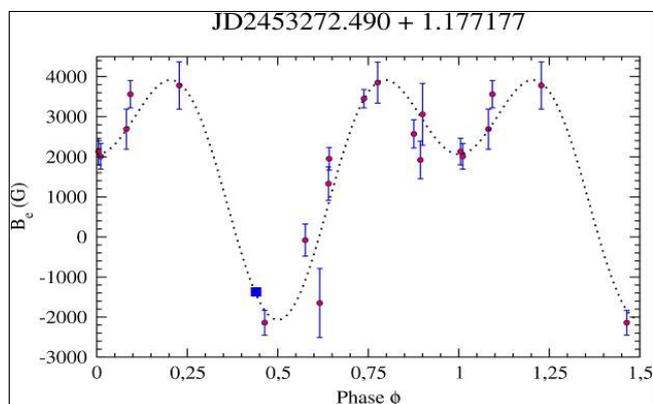


Рис. 36. Слева - кривая переменности продольной компоненты поля HD 45583. Справа - модель магнитного поля HD 45583.

HD 45583. В течение 5-ти лет продольная компонента магнитного поля меняется сложным образом от -2 кГс до +4 кГс (рис. 36) с периодом $P=1.177^d$, который совпадает с фотометрической и спектральной переменностью. Из этого следует, что изменение поля является следствием вращения звезды. В рамках простой модели наклонного ротатора структура поля объясняется комбинацией сильно нецентрального диполя и соосного с ним октуполя. Центр диполя смещен на 0.6 радиуса звезды от ее центра. Величина поля на полюсах диполя составляет ~ 17 кГс, а на полюсах октуполя достигает 45 кГс. Оценена усредненная по всей видимой поверхности величина поля B_s в 15 - 30 кГс. Имеется небольшой избыток Fe, Si и Cr. Звезда ($T_{\text{eff}}=12600^\circ\text{K}$) является членом скопления NGC 2232, возраст которого оценивается в 30 млн. лет. Других магнитных звезд в нем не обнаружено, что необычно для достаточно богатого горячими звездами скопления. HD 45583 входит в пятерку CP-звезд с сильнейшими полями. Магнитное поле такой сложной структуры наблюдается лишь у нескольких CP-звезд.

Д.О. Кудряцев, И.И. Романюк, Е.А. Семенко.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ CP-ЗВЕЗД. Концентрация CP-звезд возрастает к плоскости Галактики. Звезды с аномальным содержанием гелия и кремния имеют большую концентрацию к плоскости Галактики, чем SrCrEu-звезды. Величины лучевых скоростей и собственных движений CP-звезд и ближайших к ним нормальных звезд тех же спектральных классов не имеют существенных различий. В рассеянных скоплениях CP-звезды распределены по всему объему скопления, не образуя выраженных группировок. Углы наклона осей вращения к лучу зрения распределены равномерно, хотя для близких соседей, расстояния не превышает 10-20 пк. есть указания на преимущественную пространственную ориентацию.

И.И. Романюк, Е.А. Семенко.

КАТАЛОГ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЗВЕЗД. Проведены прямые измерения магнитных полей (МП) для 1212 звезд различных типов, из которых 610 звезд - химически пекулярные (CP). 15240 оценок МП собраны в каталог. Оказалось, что сильными глобальными МП ($\sim kG$) обладает часть CP-звезд в верхней части ГП, и для распределения средней $\langle B_z \rangle$ напряженности магнитных полей CP-звезд наблюдается экспоненциальная зависимость. У 157 объектов изучена фазовая магнитная переменность, которая совпадает с вращением звезды: у 86% CP-звезд описывается моделью наклонного ротатора Стибса-Престона и имеет вид простой гармоник; у 14% звезд переменность имеет двухкомпонентный характер. Такой тип переменности хорошо описывается квадрупольной структурой МП звезды. Для горячих CP-звезд уменьшение МА с падением T_{eff} и, следовательно, уменьшения массы и увеличения возраста может свидетельствовать в пользу гипотезы реликтового происхождения МП. Резкий скачок МА в области «холодных», то есть менее массивных и существенно более долго живущих CP-звезд, можно объяснить динамо-механизмом. Нормальные звезды не имеют глобальных магнитных полей с напряженностью в несколько гаусс. молодые Ae/Be-звезды имеют магнитное поле напряженностью до нескольких сотен гаусс, а у холодных звезд малых масс величины поверхностного магнитного поля составляют для G-карликов - 1500 Гс, K-карликов - 2500 Гс, для M-карликов - 3500 Гс. Звезды солнечного типа имеют переменные глобальные магнитные поля напряженностью до нескольких десятков Гс, а маломассивные M-карлики - до одного кГс.

В.Д. Бычков, Л.В. Бычкова, Дж. Мадей (Польша). MNRAS, 394, 1338 (2009).

HD9996. По данным 15-летнего мониторинга этой долгопериодической магнитной Ap-звезды уточнен период долговременной переменности магнитного поля - 8019.24^d , обнаружена относительно короткопериодическая

переменность магнитного поля, которая является периодом приливного взаимодействия компонент в момент их наибольшего сближения - 272^d . Предложена модель поведения МП: скорость вращения главного компонента системы синхронизована с орбитальным периодом, главный компонент испытывает приливное воздействие от близкого прохождения второго компонента, ось вращения главного компонента в системе прецессирует с периодом 21.9 года, угол наклона оси магнитного диполя к оси вращения звезды $\beta = 18^\circ$, Эйлера угол $\Theta = 43^\circ$. Имеются сложности объяснения такого поведения в рамках предложенной модели.

В.Д. Бычков, Л.В. Бычкова, А.В. Шатилов.

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПО ЯДРАМ ЛИНИЙ ВОДОРОДА. Проведены измерения магнитных полей СР-звезд по линиям металлов и ядрам линий водорода. Наблюдения проводились в спектральной области, в которой одновременно можно измерять линии металлов и водорода. У большинства исследуемых объектов (22 из 23-х) магнитные поля, определенные по ядрам линий водорода, оказались существенно меньше магнитных полей, определенных по металлам в одном и том же спектре (рис. 37). Соотношения между этими величинами меняется от звезды к звезде. Это свидетельствует о том, что магнитные поля СР-звезд имеют более сложную структуру, чем дипольная, в частности, наблюдается большой вертикальный градиент поля - поле резко (на 30%) ослабевает в верхних слоях атмосферы.

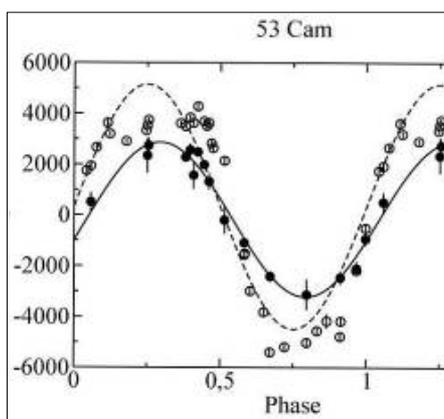


Рис. 37. Изменения продольной компоненты магнитного поля для звезды 53 Cam с фазой периода вращения. Открытые кружки - измерения по линиям металлов, заштрихованные - по ядрам линий водорода).

И.И. Романюк, Д.О. Кудрявцев.

СР-ЗВЕЗДЫ С СИЛЬНЫМИ И СЛАБЫМИ ДЕПРЕССИЯМИ. Обнаружено, что звезды с сильной депрессией на 5200 \AA , обладают в среднем в 2 раза более интенсивными полями, чем объекты со слабой депрессией. Существование такой зависимости предлагалось ранее, и теперь она впервые подтверждена. Статистическая достоверность полученных различий ($>4\sigma$) указывает на надежность полученной зависимости. Звезды с сильными аномалиями чаще встречаются среди медленных ротаторов. В среднем периоды их вращения имеют величину $\sim 10^d$, что в почти в три раза больше периодов звезд со слабыми депрессиями. Это указывает на то, что степень аномальности спектра магнитных звезд уменьшается с ростом скорости их вращения.

И.И. Романюк, Д.О. Кудрявцев, Е.А. Семенко.

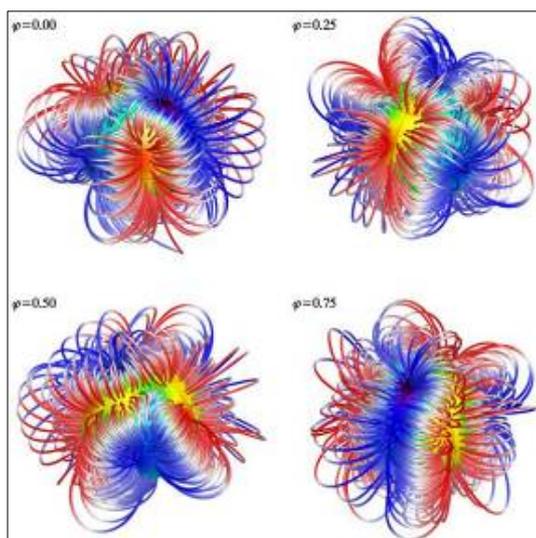


Рис. 38. Модель структуры магнитного поля HD 37776. Моделирование проведено методом магнитного доплеровского картирования.

НЕОБЫЧНО СЛОЖНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗВЕЗДЫ С СИЛЬНЫМИ ЛИНИЯМИ ГЕЛИЯ

HD 37776. У СР звезд ранних типов часто наблюдаются сильные магнитные поля на поверхности. Структуры полей похожи на наклонный диполь для большинства звезд. Звезда с сильными линиями гелия, окруженная туманностью, оказалась исключением из общего правила. Она показывает экстраординарную с двойной

волной кривую переменности продольного компонента магнитного поля с вращением, что указывает на сложную топологию и рекордную величину поля. Проведены новые исследования HD 37776. Использовали как простую геометрическую интерпретацию кривой продольного поля, так и детальное моделирование профилей циркулярной поляризации при помощи методики магнитного доплеровского картирования (рис. 38). Локальное поверхностное поле не превышает 30 кГс. В общей топологии магнитного поля доминирует неосесимметричный компонент. Конфигурация магнитного поля оказалась наиболее сложной из исследованных магнитных полей звезд ранних типов.

О. Кочухов и А. Лундин (Швеция), И. Романюк, Д. Кудрявцев. ApJ, 726, 24 (2011).

HD 182255 - CP звезда He-w типа, у которой имеется спектральная переменность, связанная с вращением, случайная переменность и вековые изменения спектров. Центральные интенсивности линий H, He и Si меняются синхронно с фазой периода вращения, однако полные интенсивности линий He и Si изменяются случайным образом из-за переменности ширин, что свидетельствует о движениях масс вдоль луча зрения при пульсации и нестационарности верхних слоев атмосферы. Это может быть объект, выходящий или только что вышедший на ГП. Оценки магнитного поля не превышают 30 гаусс. Звезда может быть отнесена к слабо магнитным. Таким образом, обнаружена нестационарная CP звезда, которая после фазы Ae/Be Хербига еще не успела подойти к стабильному состоянию.

Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов, А.В. Шаврина (Украина).

HD 142301. Моделирование магнитного поля показало, что структура внутри и на поверхности сложная. Деформация магнитного поля произошла, скорее всего, из-за выпадения больших аккреционных масс на ранних стадиях эволюции. Структура поля не успела до конца релаксироваться вследствие короткого периода эволюции звезд ранних спектров. Магнитное поле, несомненно, влияет на структуру конвективного ядра.

Ю.В. Глаголевский.

МАССИВНЫЕ ЗВЕЗДЫ

LBV-ЗВЕЗДЫ В ГАЛАКТИКЕ М33. Вокруг LBV-звезд varB, var2, var83 обнаружены протяженные туманности (рис. 39), кинематически связанные со своими звездами. Они сформированы ветром LBV-звезд или этих звезд до фазы LBV. Размеры туманностей составляют 15-30 пк, и их динамическое время – 10^5 - 10^6 лет. Около звезд varA и varC не обнаружены протяженные туманности, но эмиссионные линии туманностей присутствуют в спектрах. Практически все известные LBV-звезды Галактики имеют околосредные оболочки. Типичные галактические LBV-туманности имеют размеры 0.1-4 пк, скорость расширения 15-100 км/с и их динамическое время 100 - $5 \cdot 10^4$ лет. Туманности размером 10-30 пк не могут быть изучены в Галактике, так как их угловой размер превысит 1° . Обнаружение и изучение таких крупномасштабных туманностей вокруг LBV-звезд дает важную информацию о ранних стадиях эволюции массивных звезд.

О.Н. Шолухова, П.К. Аболмасов, С.Н. Фабрика, В.Л. Афанасьев.

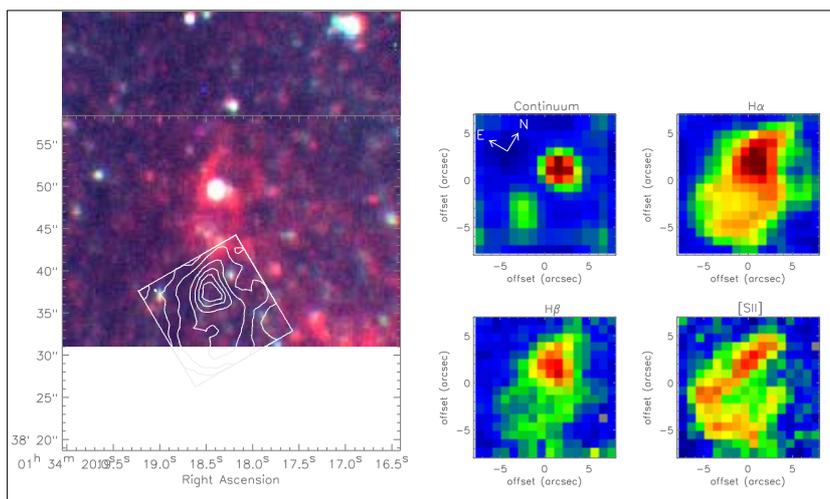


Рис. 39. Слева: комбинированное изображение области вокруг var2 (БТА) с наложенными изофотами в линии H α . Справа: карты MPFS в линиях и континууме звезды var2. Биполярная туманность размерами 20x40 пк хорошо видна на H α и H β картах. Она показывает различную морфологию в линиях разного возбуждения, газ в ней возбуждается ударом. Сама звезда является источником эмиссии в разрешенных линиях. В линии H α обнаружен градиент скорости ± 30 км/с в направлении SE-NW.

N93351 В ГАЛАКТИКЕ М33. В М33 обнаружена LBV-звезда. Такие звезды относятся к наиболее массивным звездам ($>50 M_\odot$) на заключительных стадиях эволюции перед вспышкой сверхновой. N93351 – седьмая и самая яркая из LBV-звезд в галактике М33. Ее светимость составляет $2 \cdot 10^6 L_\odot$, масса $\sim 100 M_\odot$. Звезда оказалась переменной также в ИК-диапазоне и имеет еще избыток ИК-излучения. Определена температура звезды - 16000°K. По данным Spitzer обнаружено, что звезда окружена двумя пылевыми оболочками с температурами 900 и 420°K. Скорость звездного ветра составляет 200 км/с.

А.Ф. Валеев, О.Н. Шолухова, С.Н. Фабрика. MNRAS, 396, L21, (2008).

и архив Gemini). Наблюдения были выполнены в орбитальных фазах около затмения аккреционного диска и в прецессионную фазу, когда диск максимально открыт наблюдателю. В диапазоне длин волн 4740-4840 Å были рассчитаны кросс-корреляционные функции (CCF) этих спектров по отношению к спектру стандартной звезды HD 9233. Определена амплитуда лучевой скорости звезды-донора 58.3 ± 3.8 км/с и скорость системы 59.2 ± 2.5 км/с. Определены массы звезды-донора $M_D = 12.4 \pm 1.9 M_\odot$ и компактной звезды $M_X = 4.3 \pm 0.6 M_\odot$. Обнаружены признаки сильного прогрева поверхности звезды-донора излучением компактного объекта. Полученные массы компонентов можно рассматривать как верхние пределы. Наблюдаемые профили линий поглощения и их смещение с орбитальной фазой хорошо воспроизводятся простой моделью системы (рис. 42). Истинная полуамплитуда лучевой скорости донора в этом случае должна быть сравнительно малой, 40 ± 5 км/с. При учете прогрева поверхности звезды-донора ограничения на массу релятивистской звезды составили $1.9 M_\odot \leq M_X \leq 4.9 M_\odot$. Таким образом, компактный объект в системе SS 433 - черная дыра малой массы.

К. Кубота, И. Уэда (Япония), С.Н. Фабрика, А.С. Медведев (ГАИШ МГУ), Е.А. Барсукова, О.Н. Шолухова, В.П. Горанский (ГАИШ МГУ), *ApJ*, **709**, 1374 (2010).

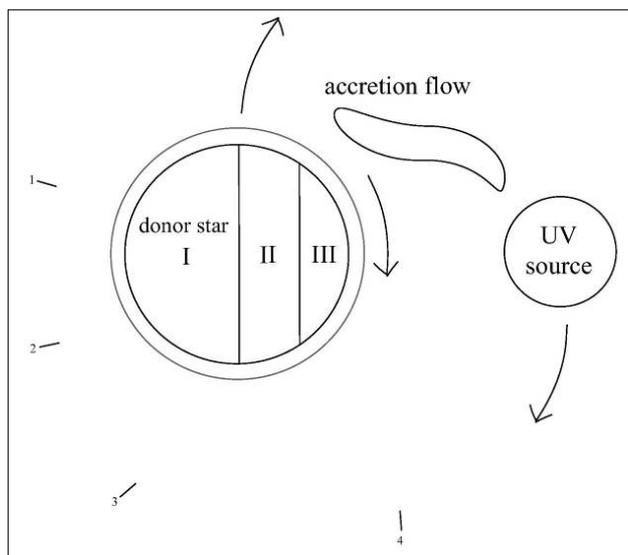


Рис. 42. Модель SS 433 (не в масштабе) включает массивного донора с протяженной газовой оболочкой, источник УФ-излучения, окружающий компактный объект, и газовые потоки. Орбитальное движение и вращение донора обозначены стрелками. На поверхности донора три зоны: (I) – ненагретая область, ответственная за линии поглощения; (II) – нагретая область - только эмиссионные линии; (III) – перегретая область без спектральных линий. Протяженная оболочка (ветер) производит эмиссионные линии в зоне II и частично в зоне I при подсветке УФ-источником. Цифрами 1, 2, 3 и 4 показаны орбитальные фазы при наблюдениях на Subaru.

ИЗЛУЧЕНИЕ КАНАЛА СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО АККРЕЦИОННОГО ДИСКА SS 433. SS 433 - единственная двойная система в Галактике с черной дырой и со сверхкритическим аккреционным диском, в котором формируются релятивистские струи. Считалось, что все наблюдаемое рентгеновское излучение SS 433 возникает за счет их охлаждения. В рамках стандартной модели адиабатически и радиационно охлаждающихся релятивистских струй изучены рентгеновские спектры SS 433 (XMM-Newton). Полученная многотемпературная модель струй хорошо объясняет потоки наиболее сильных наблюдаемых эмиссионных линий. Однако, тепловая модель струй не в состоянии объяснить излучение в континууме в диапазоне детекторов XMM, флуоресцентную линию железа и некоторые широкие спектральные особенности.

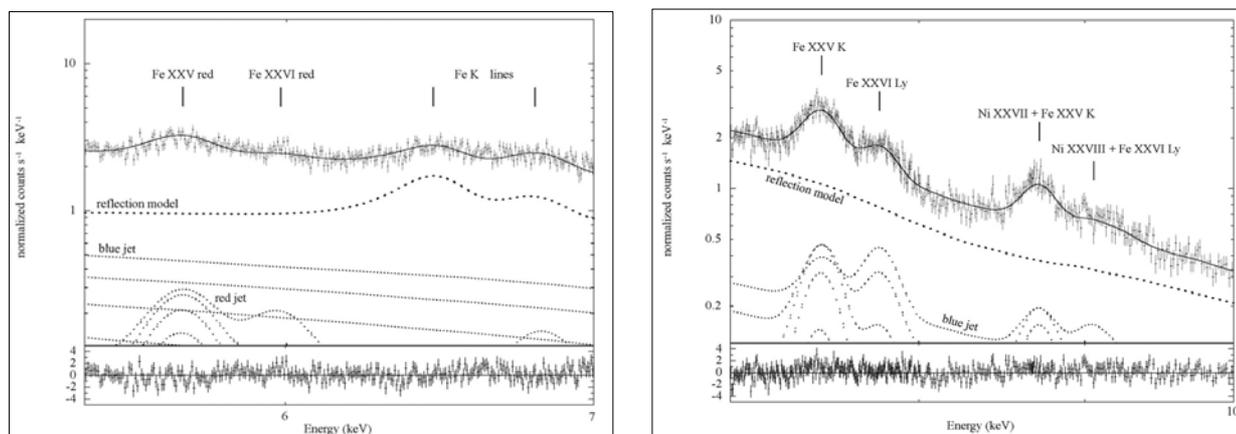


Рис. 43. Наблюдаемый спектр SS 433 (XMM) с объединенной моделью тепловых струй и дополнительного отраженного компонента в двух областях спектра 5.0-7.0 (слева) и 7.0-10.0 кэВ (справа). Полный модельный спектр показан сплошной линией. Модель отражения хорошо объясняет флуоресцентную линию квазанейтрального железа на 6.4 кэВ, рекомбинационную линию K_α железа Fe XXV на 6.7 кэВ, а также широкую деталь поглощения скачками железа на ~8-9 кэВ.

Дополнив эту модель отраженным рентгеновским излучением, мы обнаружили в спектре SS 433 в полосе ~3-12 кэВ значительный вклад излучения, отраженного от сильно ионизованной поверхности (рис. 43). Излучение, падающее на эту поверхность, имеет спектр с меняющимся фотонным индексом. Обнаруженный отраженный спектр формируется в канале сверхкритического аккреционного диска, падающее излучение приходит из глубоких областей канала, затем оно отражается на внешних видимых стенках канала на расстоянии $r \leq 2 \cdot 10^{11}$ см от черной дыры. При многократных рассеяниях излучения в канале более жесткое излучение >7 кэВ может не поглотиться стенками, а более мягкое поглощается, что делает спектр горбатым. В области 0.8-2 кэВ не найдено признаков отражения, но обнаружен избыток мягкого рентгеновского излучения, параметры которого не зависят от модели тепловых струй. Ничего нельзя сказать определенного о его природе. Этот спектральный компонент имеет примерно такие же параметры как и мягкое излучение обнаруженное в ультраярких рентгеновских источниках (ULXs).

А.С. Медведев (ГАИШ МГУ), С.Н. Фабрика. MNRAS, 402, 479 (2010).

УЛЬТРАЯРКИЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ (ULX) ИСТОЧНИКИ

ТУМАННОСТИ ULX. Исследованы 8 оптических объектов – туманностей и молодых звездных скоплений с небулярной компонентой, совпадающих с внеядерными ULX источниками в близких галактиках. Наблюдаемые свойства туманностей ULX свидетельствуют в пользу смешанного характера источников ионизации и возбуждения. Сосуществование ударных волн и фотоионизации согласуется с картиной ветра, возникающего при сверхкритической аккреции на черную дыру звездной массы. Для широкого диапазона аккреционных параметров температура фотосферы ветра составляет величину $\sim 10^5$ К при светимости $10^{39} \div 10^{40}$ эрг/с. Механическая светимость ветра также близка к 10^{39} эрг/с (или больше, при наличии струйной активности). Два источника отождествлены с молодыми звездными скоплениями.

П.К. Аболмасов, С.Н. Фабрика, О.Н. Шолухова, Д. Шварц и К. Гош (США).

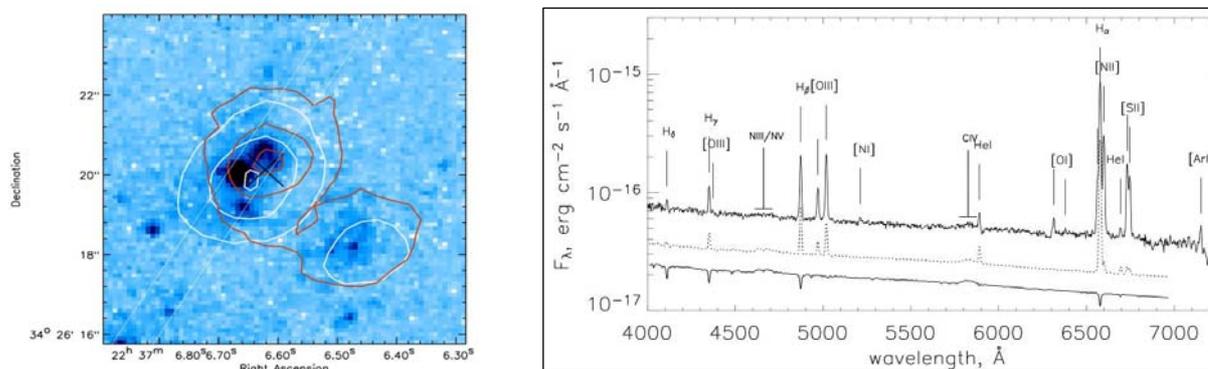


Рис. 44. Слева - молодое скопление звезд с NGC 7331 ULX-1 (HST/ACS, фильтр В). Черным крестиком показано положение рентгеновского источника (длина отрезка соответствует боксу ошибок). Две белые прямые линии показывают положение щели спектрографа SCORPIO. Белыми изофотами нарисовано распределение горячего газа в линии [OIII] 5007Å, красными — в линии H α . Справа сверху – вниз: спектр (БТА/SCORPIO) скопления и туманности; модельные спектры скопления (пунктирная линия) и туманности и скопления (сплошная линия). В модельных спектрах линии, ионизованные УФ-излучением, хорошо согласуются, а возбуждаемые столкновениями, оказываются в несколько раз слабее наблюдаемых линий. Если в скоплении находится один объект типа SS 433 или MF16 (NGC 7331 ULX-1), то это может полностью объяснить наблюдаемую картину.

NGC 7331 ULX-1. В галактике NGC 7331 изучено молодое массивное скопление, в котором находится NGC 7331 ULX-1 (рис. 44, слева). Определены параметры скопления и окружающей его туманности. Подсчитано количество остатков сверхновых и звезд WR. Для образования черной дыры за время эволюции скопления предшественник ULX должен иметь массу не менее 40-50 М \odot . Модельный эмиссионный спектр туманности и скопления (рис. 44, справа) объясняется фотоионизацией излучением молодых звезд скопления, а не ударным возбуждением. Для последнего требуется в 5 раз больше механической энергии, чем могут дать все найденные сверхновые и звезды WR. Для объяснения наблюдаемой светимости скопления в линиях [OI], [NII], [SII] нужна дополнительная механическая энергия ($\sim 10^{39}$ эрг/с), которую могут дать объекты типа SS 433 или NGC 6946 ULX-1. Как полученная оценка ветровой/струйной активности, так и наличие яркого УФ-источника, свидетельствуют в пользу того, что ULX-источник в NGC 7331 – массивная рентгеновская двойная со сверхкритическим аккреционным диском.

П.К. Аболмасов, С.Н. Фабрика, О.Н. Шолухова, Д.А. Шварц, К.К. Гхош, А.Ф. Тенант (США). AJ, 668, 124 (2007).

NGC 6946 ULX-1. В галактике NGC 6946 на БТА изучена туманность MF16, окружающая источник NGC 6946 ULX-1 (рис. 45). Определены ее масса, плотность, температура газа и скорость расширения. В

MF16 обнаружено множество линий элементов с высокой степенью ионизации, которые могут появиться только при фотоионизации газа ультрафиолетовым или рентгеновским излучением. Туманность вокруг ULX расширяется со скоростью около 100 км/с и возбуждается двумя механизмами – фотоионизацией и диссипацией ударных волн. MF16 имеет слишком большую светимость и размер, чтобы ее можно было отнести к остатку сверхновой. Наблюдаемая картина объясняется выбросом струй из источника, расположенного в центре туманности. Из чего мы полагаем, что ULX в NGC 6946 – сверхкритический аккреционный диск в массивной двойной системе с черной дырой. Обнаружено, что NGC 6946 ULX-1 не может обеспечить высокую степень ионизации туманности, и требуется дополнительный источник энергии ($\sim 10^{40}$ эрг/с) в далеком УФ-диапазоне, т.е. ULX должен быть ярким в этой области спектра. Это подтверждается моделированием спектра самой туманности. Этот спектр похож на спектр SS 433 и объясняет наблюдаемые интенсивности линий туманности.

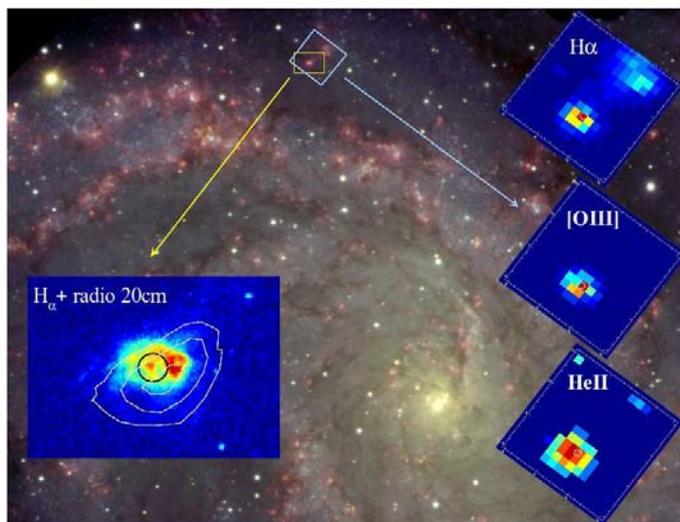


Рис. 45. Панорамная спектроскопия туманности MF16. Слева: изображение туманности MF16 в H_{α} (HST) с наложенными изофотами на волне 20 см (VLA, США). Кружком отмечено положение рентгеновского источника (Chandra). Справа: карты области, полученные на MPFS (БТА) в разных спектральных линиях.

П.К. Аболмасов, С.Н. Фабрика,
О.К. Шолухова, Т. Котани (Япония).

КАТАКЛИЗМИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЛЫЙ И КРАСНЫЙ КАРЛИКИ. Несмотря на идентичность многих параметров катаклизмических переменных (CV) и предкатаклизмических двойных (PCB), основное различие между ними (аккреция или ее отсутствие) обусловлено процессом эволюции и свойствами прародителей. В частности, бимодальность распределения орбитальных периодов, без сомнения, имеет глубокий эволюционный смысл. Для сравнения эволюционного возраста систем была построена диаграмма «светимость – эффективная температура главных компонентов» (рис. 46).

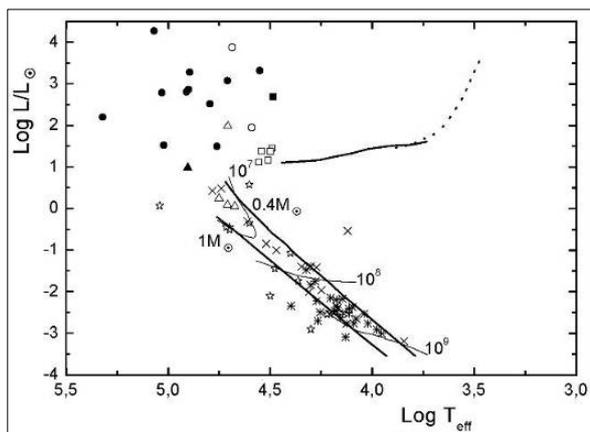


Рис. 46. Диаграмма светимость–температура для главных компонентов PCBs и CVs. Сплошная горизонтальная линия – ZAMS, пунктирная – AGB, две жирные линии, идущие слева сверху вправо вниз – линии охлаждения белых карликов для масс 1 и 0.4 M_{\odot} , тонкие линии – изохроны для возрастов 10^7 , 10^8 , 10^9 лет. Обозначения: CVs с $P > 3h$ (звездочки), с $P < 2h$ (ежики), остальные – PCBs. Заполненными значками обозначены центральные звезды планетарных туманностей.

По ней сделано два вывода: 1) оба типа систем имеют в среднем одинаковый возраст, исключая самые молодые PCB (что противоречит представлению о PCB как предшественниках CV); 2) CVs коротких ($P < 2h$) и длинных ($P > 3h$) периодов имеют одинаковый возраст (что противоречит представлению о том, что первые являются продуктом эволюции вторых и что CVs эволюционируют поперек провала периодов). Оценено предельное расстояние l_0 , на котором системы еще сохраняют устойчивость. Сравнение l_0 с расстоянием между компонентами системы a показало, что для CVs всегда $l_0 > a$, а для PCB $l_0 < a$. PCBs сохранили устойчивость в процессе эволюции, а CVs потеряли ее. Одинаковый возраст всех систем дает основание предположить, что прародители систем «белый + красный карлики» в процессе эволюции дали начало двум ветвям объектов: CVs и то, что сейчас называется PCBs. Известный пробел периодов CVs образовался из-за

того, что из первоначального общего распределения ушли устойчивые системы. Это сразу объясняет антифазность распределений периодов и отсутствие эволюции CVs через пробел. Показано, что нынешние CVs вероятнее всего возникли сразу как полуразделенные системы после первой или второй фазы общей оболочки. Если это так, то должны существовать CVs – центры планетарных туманностей. Обнаружение таких систем будет критическим экспериментом в данном случае.

Н.Ф. Войханская.

BE UMa. Завершен семилетний мониторинг молодой предкатаклизмической переменной BE UMa. Получены данные для разных орбитальных фаз двойной системы, в том числе для моментов главного затмения. Проведена идентификация эмиссионных линий 10 химических элементов. В минимумах блеска в спектрах обнаружены линии поглощения и молекулярные полосы, формирующиеся в атмосфере вторичной компоненты ($T_{\text{eff}} \sim 4700^\circ\text{K}$). Лучевые скорости демонстрируют ранее предсказанные искажения, вызываемые действием эффектов отражения в тесных двойных системах. Массы компонент составляют $M_1 = 0.59 \pm 0.07 M_\odot$, $M_2 = 0.25 \pm 0.08 M_\odot$, а их отношение $q = 0.43 \pm 0.09$. Анализ кривых блеска проведен с применением метода моделей атмосфер облучаемых звезд. Уточнены все параметры BE UMa. Корректность моделирования спектров системы в фазах максимума блеска подтверждается хорошим совпадением с наблюдаемыми интенсивностями большинства линий тяжелых элементов. Содержание He и ряда легких элементов (C, N, O, Ne, Mg) в атмосфере холодной звезды завышено относительно солнечных значений. Физические характеристики первичной компоненты хорошо согласуются с эволюционными треками для ядер планетарных туманностей. Вторичная компонента оказалась ярче в 30 раз звезд ГП тех же масс.

Н.В. Борисов, В.В. Власюк, О.И. Спиридонова, В.В. Шиманский, С.А. Позднякова, И.Ф. Бикмаев, Н.А. Сахибуллин (КГУ). ПАЖ, 34, 423 (2008).

HS 1857+5144 И ABELL 65. Выполнены исследования физических характеристик этих ТДС при наблюдениях с широким набором фаз орбитальных периодов. Показано, что Abell 65 и HS 1857+5144 являются молодыми предкатаклизмическими переменными с орбитальными периодами $P_{\text{orb}} = 1.003729^{\text{d}}$ и $P_{\text{orb}} = 0.26633331^{\text{d}}$ соответственно. Наблюдаемые изменения в кривых блеска и спектрах объектов формируются под действием эффектов отражения УФ излучения горячих компонент на поверхности холодных спутников. Получены возможные и оптимальные наборы их фундаментальных параметров. Вторичные компоненты HS 1857+5144 и Abell 65 обладают характерными для подобных объектов избытками светимости относительно звезд ГП. Анализ избытков светимости вторичных компонент всех молодых ГП указывает на более быструю скорость их релаксации к спокойному состоянию по сравнению с найденной в предшествующих исследованиях.

В.В. Шиманский, С.А. Позднякова (КГУ, Казань), Н.В. Борисов, И.Ф. Бикмаев (КГУ, Казань), В.В. Власюк, О.И. Спиридонова, А.И. Галеев и С.С. Мельников (КГУ, Казань). Астрофиз. бюлл., 64, 366 (2009).

ТДС С В-СУБКАРЛИКАМИ. Классификация ТДС, особенно молодых предкатаклизмических двойных (PCV) и дважды вырожденных двойных систем (DD-binaries), проводится с привлечением как спектральных, так и фотометрических данных. Применение этого метода к двойным с орбитальным периодом более 12 часов требует значительного количества наблюдательного времени. Мы разработали модифицированный метод: наблюдения проводятся только в тех фазах орбитального периода, когда вариации яркости молодой PCV-системы достигают максимума. Сравнение наблюдаемых и теоретических кривых блеска позволяет классифицировать систему. Проведена классификация четырех систем с В-субкарликами. PG 1000+408 и PG 0001+275 являются тесными двойными и принадлежат к классу DD-систем. PG 0918+029 и PG 1116+301 относятся к тесным двойным системам с sdB-компонентами.

Н.В. Борисов, В.В. Власюк, О.И. Спиридонова, В.В. Шиманский, И.Ф. Бикмаев, Н.А. Сахибуллин, А.И. Галеев (КФУ). АЖ, 52, 729 (2008).

Радиоастрономические исследования

ГЛУБОКИЕ ОБЗОРЫ НЕБА НА РАТАН-600

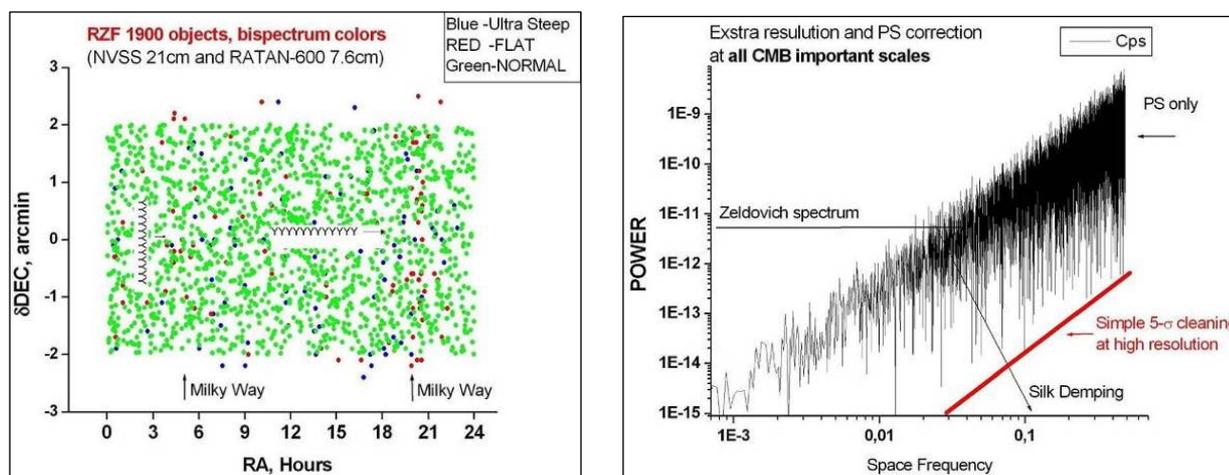


Рис. 47. Слева – область обзора RZF. Синие точки - радиисточники с ультракрутыми спектрами, красные точки - радиисточники с плоскими или инверсионными спектрами. Рисунок справа демонстрирует возможность устранения вклада фоновых радиисточников с помощью наблюдений на больших радиотелескопах. Учет их вклада снижает уровень шума на всех пространственных частотах. Горизонтальная линия - уровень анизотропии CMB до момента рекомбинации водорода $z=1000$.

ОБЗОР RZF - RATAN-600 ZENITH FIELD. Завершен глубокий обзор области неба $0^h < R.A. < 24^h$ и $40.5^\circ < Decl. < 42.5^\circ$ на волнах длиннее 3.9 см. RZF нацелен на получение спектра мешающих фоновых излучений при исследовании анизотропии реликтового фона (CMB). Интерпретация данных по фоновому излучению в диапазоне 1см - 1мм требует экстраполяции фона синхротронного излучения и свободно-свободного излучения горячего газа в Галактике, а также шума фоновых источников и дипольного излучения пыли. Основными параметрами, определяющими полноту исследований фоновых излучений, являются пиксельная чувствительность на разных угловых масштабах $\Theta \sim 1/L$, размер исследованной области неба и чувствительность инструмента ($\sim \Omega_A$). Предельная Фурье-гармоника, регистрируемая в спектре фона, определяется отношением размера инструмента к длине волны, D/λ . l' по склонению соответствуют $L=1000$ в спектре мощности CMB. На этих масштабах существенно падает интенсивность сахаровских осцилляций и максимальна поляризация CMB (рис. 47, справа). Получены данные о флуктуациях фона Галактики и Метагалактики на масштабах интересных для космологии с чувствительностью и угловым разрешением большими, чем это делалось ранее, а также в диапазоне близком к диапазону космических экспериментов WMAP и PLANCK. При осреднении данных на малых масштабах стал доминировать шум фоновых источников, а на больших масштабах - шум Галактики. На коротких волнах и на малых масштабах доминирует шум радиометров, а на больших масштабах - шум атмосферы Земли. Показано, что в наземных экспериментах на радиотелескопах с большими апертурами:

- 1) на малых угловых масштабах ($\Theta \ll 1^\circ$, или $l > 200$) величины практически всех видов мешающих фоновых излучений много меньше оценок прошлого десятилетия. Это относится и к неизвестной новой популяции дискретных радиисточников, и к «опасным» для анизотропии CMB объектам с инверсионными спектрами;
- 2) значительно повышена точность оценки шума на малых масштабах, которые определяются гравитационным рассеянием CMB на одномерных структурах, предсказываемых единой теорией поля (типа SUSY - суперсимметрия в конце эпохи инфляции);
- 3) найдены методы подавления шумов атмосферы Земли в режиме наблюдений с неподвижной диаграммой радиотелескопа. Это открывает новые возможности использования наземных инструментов в исследовании фоновых излучений Вселенной в диапазонах волн, прозрачных для атмосферы Земли ($\lambda > 3-10$ мм);
- 4) показана рентабельность использования матричных радиометров в фокальной плоскости радиотелескопов; предложен простой и эффективный метод высокоточной калибровки каналов матрицы в поляризационных наблюдениях, использующих неполяризованное излучение атмосферы в качестве эталона.

Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, Г.В. Жеканис, М.Г. Мингалиев.

ПРОЕКТ «КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ ГЕН». С новой большой фокальной матрицей (32 волновода) на частоте 30 ГГц начаты исследования фоновых излучений в интенсивности и поляризации (рис. 48). После фильтрации

шумов от NVSS-объектов с нормальными спектрами мы надеемся достичь чувствительности в оценке C_l , выше достигнутой в обзоре WMAP, а возможно и выше миссии PLANCK. Отметим, что для области пространственного спектра с $l > 2500$ РАТАН-600 не имеет конкурентов. Были проведены исследования sz -шума и получены более глубокие данные, чем в известном СБИ-эксперименте. Эти измерения использовались для оценки наклона пространственного спектра по шуму неба на недоступных миссии PLANCK гармониках с $l \sim 3000-6000$. По этим оценкам показано, что есть указания на наличие гравитационного шума эпохи инфляции. Интерес к оценкам подобного типа связан с надеждами на понимание физики Вселенной при энергиях на порядки более высоких, чем получены на ускорителе в Церне.

Ю.Н. Парийский.

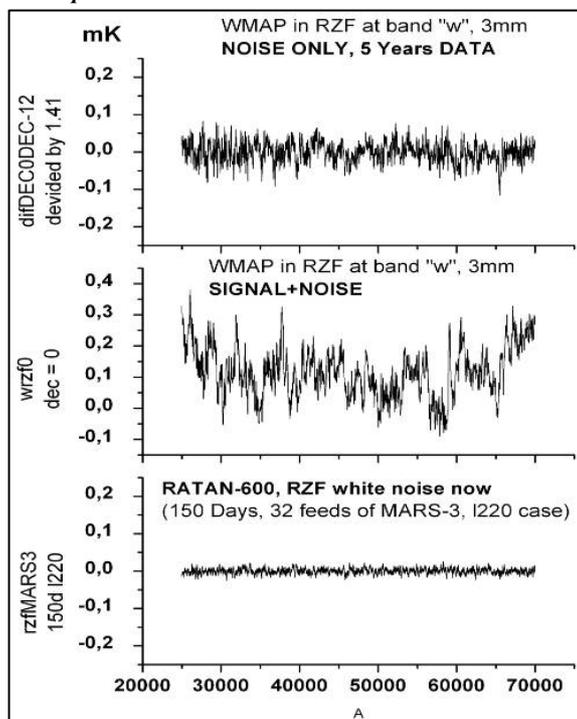


Рис. 48. Слева - данные, полученные с помощью матричной системы МАРС-3 для масштаба $l=220$ только для белого шума. Этот шум меньше, чем накопленные за 5 лет данные миссии WMAP, из-за существенно большего времени накопления.

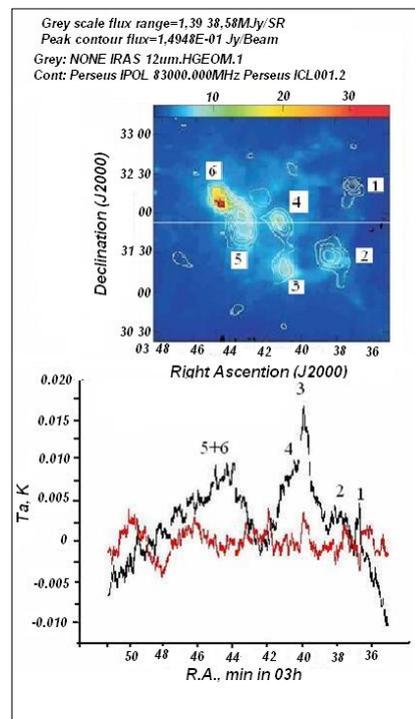


Рис. 49. Вверху - пылевые облака в Персее (IRAS, $100 \mu m$), контур - данные VSA, цифры - возможные области максимального дипольного излучения макромолекул, прямая линия - разрез области наблюдений на РАТАН-600 ($\lambda 6.2$ см), приведенный на нижнем рисунке, где наблюдения обозначены красным цветом, модель - черным.

ОЦЕНКА РОЛИ ДИПОЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МАКРОМОЛЕКУЛ. Ионизация макромолекул космическими лучами или фотонами приводит к дипольному радиоизлучению в см диапазоне. Проведены наблюдения газопылевого облака в Персее. Процент поляризации по наблюдательным данным оказался значительно меньше предсказанного (рис. 49). Вне плоскости Галактики по данным RZF на $\lambda 1.38$ см получен верхний предел, где ожидается максимум радиоизлучения от «Spinning Dust». Он оказался много ниже прогнозируемого значения ($\sim 600^\circ K$). Таким образом, вклад макромолекул в фоновое радиоизлучение неба в интенсивности и поляризации на высоких галактических широтах не мешает наземным наблюдениям в окне прозрачности земной атмосферы, а на центральных частотах миссии PLANCK их вклад еще меньше.

Ю.Н Парийский, Т.А. Семенова.

ПОИСК НОВЫХ ПОПУЛЯЦИЙ РАДИОИСТОЧНИКОВ В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Между ИК-обзором неба на волне ~ 100 микрон и самыми глубокими обзорами радио неба на волне 21см (NVSS, FIRST, порог 1-3 мЯн) нет ни одного обзора близкой чувствительности. Каталоги типа GB6 (6 см, порог 20мЯн) и WMAP (~ 1 см, порог около 1Ян), эксперимент ХОЛОД и Зенитный обзор (RZF) на РАТАН-600 близки по чувствительности к NVSS в см диапазоне. Последние два обзора позволяют выделить объекты в несколько мЯн, что дает возможность оценить роль новых популяций источников.

ЭКСПЕРИМЕНТ ХОЛОД НА 7.6 СМ И ГЛУБОКИЕ ДЕЦИМЕТРОВЫЕ ОБЗОРЫ NVSS И FIRST. Двумя независимыми методами повторно обработаны все циклы наблюдений (1980-1999 гг.) полосы обзора ХОЛОД. В результате получен RCR-каталог (RATAN COLD REFINED), в котором представлены прямые восхождения и плотности потоков объектов, отождествленных с объектами NVSS-каталога, в диапазоне прямых

восхождений $7^h \leq R.A. < 17^h$. Построены спектры источников и определены их спектральные индексы на частотах 3.94 и 0.5 ГГц. Для построения спектров привлекались все известные каталоги и данные других обзоров. Данные обзора ХОЛОД 1980-1999 гг. позволили определить двухчастотные спектры многих слабых NVSS-объектов, для которых нет данных на других частотах, и выделить более слабые объекты, чем в обзоре GB6 ($S_{lim} \sim 25$ мЯн на $\lambda 6$ см). Популяция NVSS-объектов с плоскими и инверсионными спектрами, имеющих плотность потока больше 10 мЯн, полностью попала в данные ХОЛОД 1980-1999 гг. Накопление существенно большего числа суточных разрезов неба, чем в ХОЛОДе-80, привело к ожидаемому снижению уровня шумов радиометра, но практически не снизило порог обнаружения источников в связи с доминированием шума фоновых радиоисточников.

Обзоры в см диапазоне используются для выделения популяции NVSS, FIRST объектов с инверсионными спектрами. Это интересно для селекции радиоизлучающих галактик и квазаров с активными ядрами (AGN). Сантиметровые обзоры неба с чувствительностью, адекватной NVSS и FIRST каталогам, пока удалось провести только в очень малых областях неба, что резко ограничивает полноту данных по объектам высокой радиосветимости на разных красных смещениях.

Н.С. Соболева, Е.К. Майорова, О.П. Желенкова, А.В. Темирова, Н.Н. Бурсов.

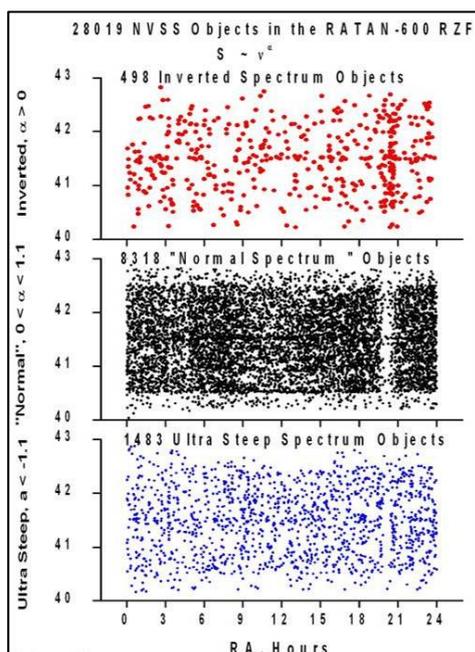


Рис. 50. Данные о спектральных индексах NVSS-объектов, видимых в RZF обзоре. Подтверждается вывод о малом числе объектов с инверсионными спектрами (~2%). Процент объектов с ультракрутыми спектрами остается ощутимым (~5%). При переходе к слабым объектам увеличивается процент источников со спектральными индексами более плоскими, чем средний, и уменьшается число источников со спектральными индексами более крутыми, чем средний спектральный индекс.

По данным радиобзоров ХОЛОД и RZF проведены исследования спектральных свойств радиоисточников на различных уровнях плотностей потока для поиска «новой популяции» радиоисточников в см диапазоне, не зарегистрированных в обзорах NVSS и FIRST, а также для уточнения роли шума NVSS-источников. Все NVSS-объекты с инверсионными спектрами регистрируются в RZF-обзоре. Карта неба всех NVSS-объектов, попавших в область обзора RZF (500 кв. град.), показана на рис. 50. Предложен метод «групповых» спектральных индексов, который свободен от шума «насыщения», что позволило проследить спектральный состав NVSS-популяций до уровня выше 3.8 мЯн на $\lambda 21$ см. Обнаружено уплощения среднего спектрального индекса при переходе от плотностей потока от 100 мЯн до 10 мЯн в см диапазоне. Этот эффект предсказывается как следствие исчезновения популяции мощных радиоисточников с крутыми спектрами типа FRII, которая уже почти полностью видна на любых расстояниях во Вселенной на уровне GB6-каталога. Учитывая малое количество объектов с инверсионными спектрами, мы считаем, что основная масса новых объектов неба имеет спектральный индекс близкий к ожидаемому для галактик с бурным звездообразованием, а не для галактик с активными ядрами, имеющими плоские и инверсионные спектры. Сделаны оценки среднего спектра предельно слабых радиоисточников каталога FIRST, чувствительность которого близка к 0.03 мЯн. Они показали, что тенденция к уплощению спектра сохраняется. Тем самым подтверждается существование популяция радиоисточников на суб-миллиардном уровне, и, вероятно, она связана с объектами малой радио светимости с малыми красными смещениями.

Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов, Т.А. Семенова, Ю. Сотникова, Н.С. Соболева, А.В. Темирова, М. Хабибуллина, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, Д.А. Кратов.

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ РАДИОИСТОЧНИКОВ. Из 432 радиоисточников каталога RC, попадающих в область пересечения с обзорами SDSS и FIRST (~132 кв.град.), ~75% идентифицированы с объектами радиокаталогов FIRST и NVSS. По данным FIRST подсчитано число компонентов для исследуемых источников. Однокомпонентные источники составляют ~55% выборки, двухкомпонентные и с большим числом компонентов ~45%. С привлечением данных других обзоров проанализировано поведение спектров радиоисточников. При оптическом отождествлении источников каталога RC особое внимание уделялось

морфологической классификации радиисточников. Так 39% источников отнесены к точечным (C, core), 40% - к двойным источникам, ~20% - к тройным и многокомпонентным. Для ~80% радиисточников исследуемого списка обнаружены оптические кандидаты. У остальных ~20% оптические объекты оказались слабее предельной глубины обзора SDSS ($r=22.6^m$). Примеры отождествления приведены на рисунке 51. Для отождествленных источников соотношение галактик и звездных объектов составляет ~2:1, причем последние, скорее всего, квазары. Больше всего оптических кандидатов обнаружено для CJ (core-jet), CL (core-lobe) и T (triple) типов, для двойных радиисточников - меньше и еще меньше для точечных объектов. Двойные источники отождествляются в основном с галактиками. Источники CL и T типов отождествляются с более яркими объектами в оптике, чем CJ, двойные и точечные радиисточники. Большая часть радиисточников, отождествленных с галактиками, имеют крутые и ультракрутые спектры в диапазоне 1.4-4.85 Гц. Среди радиисточников, попавших в «пустые поля», доля объектов с крутыми и ультракрутыми спектрами еще выше. Для почти половины источников с ультракрутыми спектрами оптических кандидатов не обнаружено. Среди неотожествленных точечных источников и объектов с ультракрутыми спектрами могут быть объекты с большим Z .

О.П. Желенкова, А.И. Копылов. Астрофиз. бюлл., 63, 346 (2008); Астрофиз. бюлл., 64, 109 (2009)

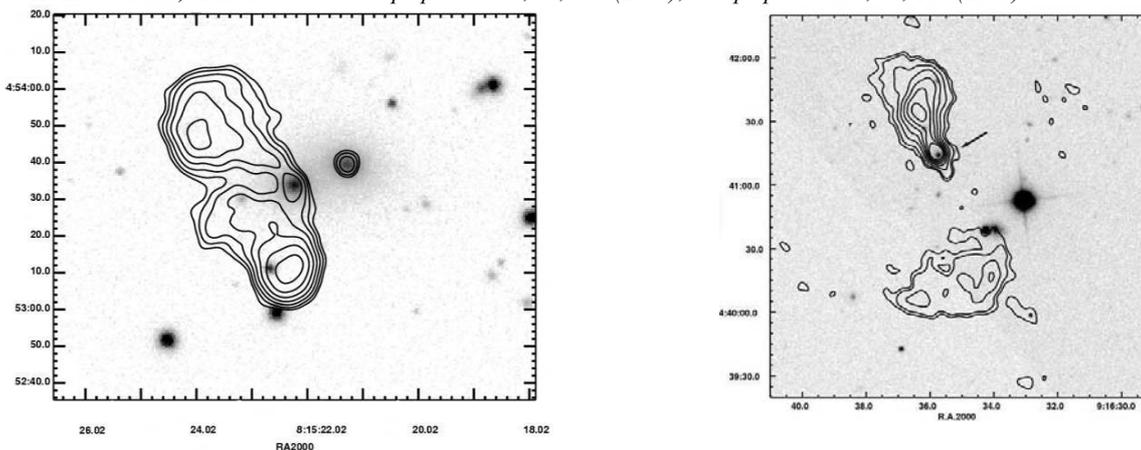


Рис. 51. Примеры оптического отождествления. Слева — радиисточник RC J0815+0453, справа — RC J0916+0441.

Проведено оптическое отождествление 550 источников каталога RCR. Для радиисточников, у которых не обнаруживался оптический кандидат в каталогах GSC, SDSS, UKIDSS, дополнительно при оптическом отождествлении анализировались изображения обзоров SDSS, LAS UKIDSS, POSS-II, 2MASS в разных фильтрах и суммы изображений SDSS (в фильтрах g, r, i), UKIDSS (в фильтрах J, H, K), POSS-II (Red, IR). Тем самым мы постарались при оптическом отождествлении максимально использовать все имеющиеся в открытом доступе данные. Область каталога RCR в интервале прямых восхождений $7^h \leq RA \leq 17^h$ частично пересекается с обзорами SDSS, LAS UKIDSS и FIRST. Для разных участков неба доля отождествлений по POSS-II + NVSS и SDSS + NVSS, SDSS + FIRST, UKIDSS + FIRST составила («+» - 34%, «?» - 23%, «ef» - 43%) и (50%, 25%, 25%), (79%, 8%, 13%) и (86%, 8%, 6%) соответственно, где «+» - отождествление, «?» - возможный кандидат, «ef» - пустое поле.

О.П. Желенкова, Н.С. Соболева, Е.К. Майорова, А.В. Темирова.

ПРОЕКТ «БОЛЬШОЕ ТРИО»

Проект «Большое трио» (ПАТАН-600-VLA-БТА) направлен на поиск далеких мощных радиогалактик по SS-списку источников, отобранных по крутому спектральному индексу ($\alpha < -0.9$) из объектов каталога RC. Завершены спектроскопические наблюдения на БТА этой выборки. Определены красные смещения у 71 объекта. Из общего числа исследованных радиогалактик 4 источника имеют красные смещения в интервале $1 \leq z < 2$, 3 источника — в интервале $2 \leq z < 3$, один источник — в интервале $3 \leq z < 4$ и один объект имеет красное смещение $z = 4.51$. 13 источников имеют красные смещения в интервале $0.7 < z < 1$ и 15 источников — в интервале $0.2 < z < 0.7$. Из общего числа исследованных квазаров 5 объектов имеют красные смещения в интервале $0.7 < z < 1$, 7 объектов — в интервале $1 \leq z < 2$, 4 объекта — в интервале $2 \leq z < 3$ и один объект имеет красное смещение $z = 3.57$. У 17 объектов спектральные линии не обнаружены. Для источников обзора ХОЛОД в области неба общей с обзорами SDSS и FIRST получена вся возможная информация, включая и данные, полученные на БТА для SS-выборки каталога RC. Она использовалась для оценки физических параметров источников. Показано, что проникающая сила «слепых» обзоров на ПАТАН-600 достаточна, чтобы регистрировать всю популяцию объектов типа FR II на любых красных смещениях вплоть до эпохи их формирования при возрасте Вселенной ~1 млрд лет. Обнаружено, что сверхмассивные черные дыры (СМЧД) с $M > 10^{10} M_{\odot}$ Солнца формируются очень быстро после эпохи вторичной ионизации ($z=10$). Однако масса черных дыр (ЧД) не растет, а падает с возрастом Вселенной (рис. 52).

Ю.Н. Парийский, А.И. Копылов, А.В. Темирова, Н.С. Соболева, О.П. Желенкова, О.В. Верходанов, В.М. Госс (США), Т.А. Фатхуллин. *Astronomy Reports*, 54, 675 (2010).

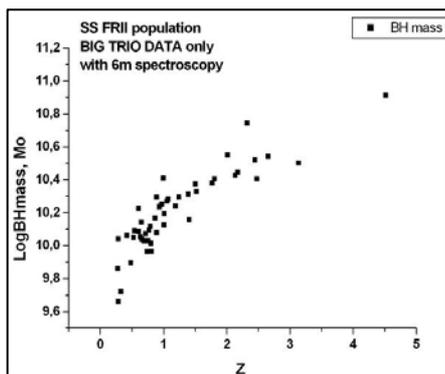


Рис. 52. Распределение масс сверхмассивных черных дыр в родительских галактиках радиосточников в зависимости от красного смещения (по результатам наблюдений на РАТАН-600 и БТА).

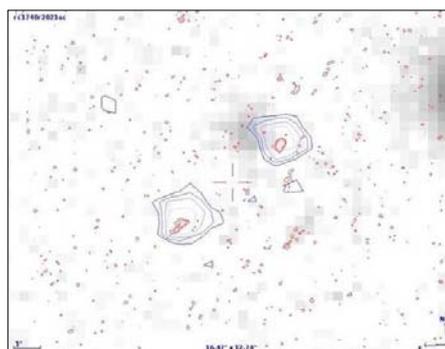


Рис. 53. RC J1740+0502. Изображение (БТА/SCORPIO, R-фильтр) совмещено с радиокартами на 5 ГГц (MERLIN, разрешение 0.2", красные контуры) и 8.4 ГГц картой (VLA, разрешение ~1", синие контуры).

RC J1740+0502. Проведены наблюдения (MERLIN, UK) на 5 ГГц радиосточника RC J1740+0502 из USS-выборки каталога RC, исследовавшегося в проекте «Большое Трио». Ранее по VLA-карте на 8.4 ГГц с разрешением ~1" источник был классифицирован как ядро с джетом. РСДБ-карта с высоким угловым разрешением ~0.2" позволила уточнить структуру радиосточника, которая отнесена теперь к двойным (рис. 53). Ранее полученное нами отождествление с квазаром (БТА/SCORPIO; 22.6^m в R-фильтре, Z=3.57) теперь становится проблематичным.

Ю.Н. Парийский, П. Томассон (Великобритания), О.П. Желенкова, А.И. Копылов, Н.С. Соболева, А.В. Темирова.

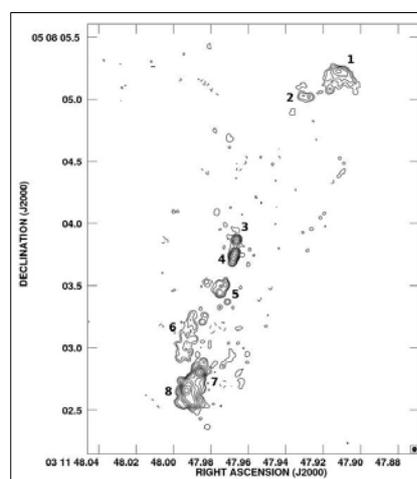
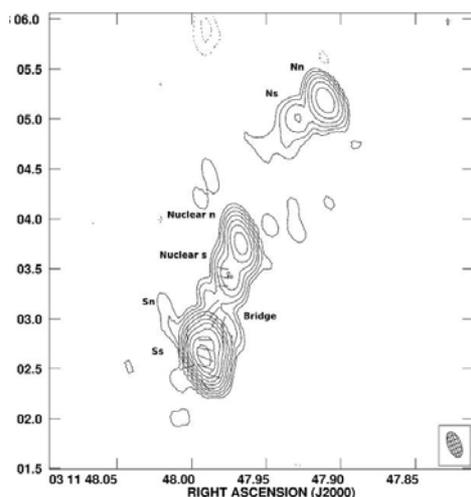


Рис. 54. RC J0311+0507: слева - 1.4 ГГц-карта (MERLIN) с разрешением 0.264"×0.132"; справа - комбинированная карта (MERLIN и e-EVN) 1.4 ГГц-карта с разрешением 0.025".

RC J0311+0507 - один из источников программы «Большое Трио». На БТА обнаружена сильная эмиссия, отождествленная с Ly α на Z=4.519. RC J0311+0507 оказался самым далеким источником из объектов программы с рекордной светимостью в см диапазоне ($L_{5\text{GHz}} \sim 6 \cdot 10^{28} \text{ W/Hz}$). Само существование гигантских FR II-радиогалактик на больших красных смещениях Z > 3-5 было до некоторых пор под вопросом из-за того, что обнаружение сверхмассивных черных дыр (СМЧД) с массой >10⁹ M \odot в галактике в первый миллиард лет ее существования требует теоретического обоснования. В принятых моделях (Cunha & Santos 2004, Loeb & Vercara 2001) темп роста СМЧД зависит от темпа аккреции и затравочной массы ЧД. Адвективные модели аккреции основаны на предположении, что существуют ЧД (~10³ M \odot) на Z > 10-30 (население III типа). Недавние результаты WMAP ставят под сомнение существование таких объектов. Для выбора модели требуются данные с высоким угловым разрешением для определения внутренней структуры радиосточников на больших Z. Наблюдения на интерферометре MERLIN (JBO, UK) на λ 18 см и 6 см (рис. 54, слева) показывают, что источник имеет в центральной области необычную многокомпонентную структуру, а затем на VLBI с разрешением 0.025" выявили 8 деталей малого размера (рис. 54, справа). Одна деталь вблизи центра

радиогалактики имеет самый плоский изо всех компонентов радиоспектр и ближе всего расположена к центру родительской галактики, координаты которой уточнены по 4 независимым наблюдениям на БТА. Вероятнее всего, он и является ядром источника. Уточнена радиосветимость ядра RC J0311+0509, по которой произведена оценка массы СМЧД родительской галактики $\geq 10^{10} M_{\odot}$, если полагать, что зависимость «радиосветимость ядра-масса СМЧД» можно экстраполировать на большие Z . Такой объект представляет существенную проблему для теоретических моделей, как эволюции галактик, так и существования СМЧД в ранней Вселенной. Высокая радиосветимость компонент при малом линейном размере этой радиогалактики требует привлечения нестандартных методов их формирования, с учетом различных вариантов мерджинга, включая варианты с двойными черными дырами. Мерджинг может обеспечивать высокую скорость вращения СМЧД и высокую светимость источника в радиодиапазоне. При $Z = 4.514$ и стандартном возрасте звездного населения в мощных радиоисточниках (0.5-2 млрд. лет) момент активного звездообразования для этой родительской галактики может быть на красных смещениях больших, чем для QSO и даже GRB. RC J0311+0507 имеет рекордную радиосветимость и массу ЧД. Этот источник, возможно, находится в скоплении галактик на красном смещении $z = 4.514$ (рис. 54, справа), а также имеет обширную газовую оболочку (рис. 54, слева). Только эволюция темной материи может сформировать скопление в столь раннюю эпоху.

Ю.Н. Парийский, О.П. Желенкова, А.И. Копылов, Н.С. Соболева, А.В. Темирова, О.В. Верходанов, П. Томассон, Т. Макслю и Р. Безик (Великобритания). http://pos.sissa.it/archive/conferences/125/031/10th%20EVN%20Symposium_031.pdf.

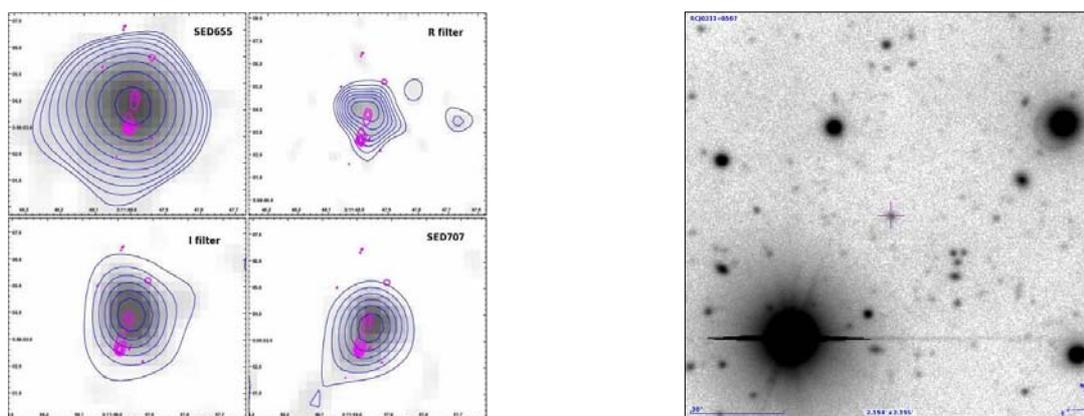


Рис. 54. RCJ0311+0507. Слева - прямые снимки (БТА+SCORPIO), полученные в фильтрах R, I, SED 655 и SED 707 (синие изофоты на полутоновых изображениях) с наложенным радиоизображением VLA+MERLIN, C-band (розовые контуры). В фильтре SED655 видна обширная газовая оболочка галактики. Справа – сумма изображений в фильтрах R, I, SED 655, SED 707. Крестиком отмечено положение родительской галактики.

РЕЛИКТОВЫЙ ФОН

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ АНИЗОТРОПИИ СМВ НА РАТАН-600

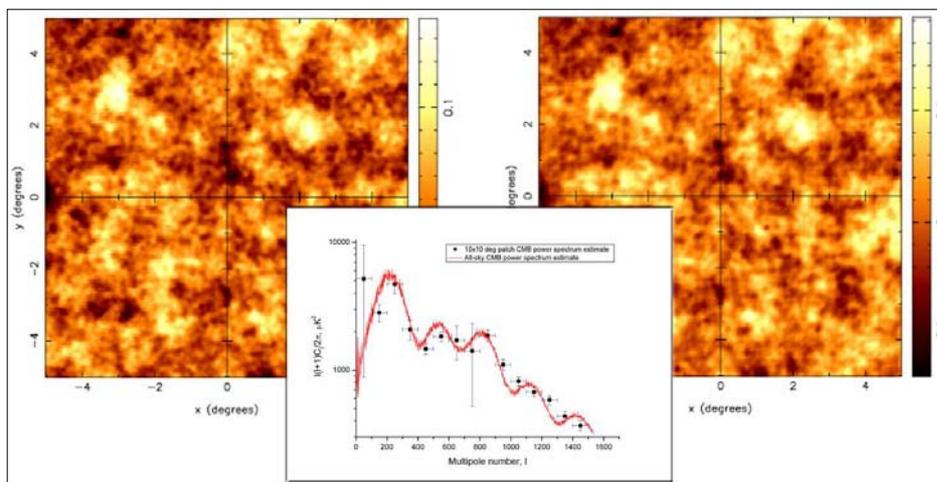
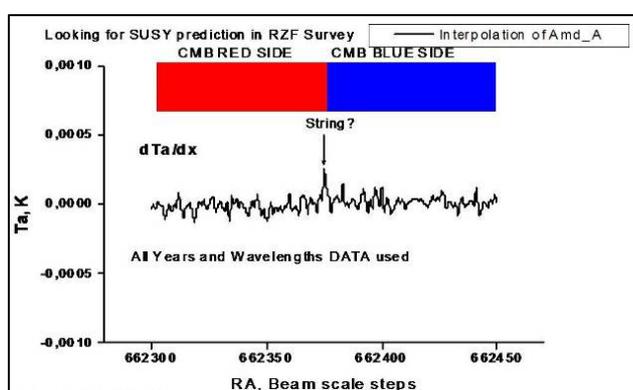


Рис. 55. Пример восстановления распределения анизотропии СМВ на площадке $10^{\circ} \times 10^{\circ}$. Слева показана модель, справа – восстановленная карта анизотропии СМВ в единицах интенсивности MJy/Sr на частоте 300 ГГц. На врезке – пример оценки спектра мощности СМВ в единицах термодинамической температуры μK^2 .

Моделировались многочастотные наблюдения площадок $10^\circ \times 10^\circ$ в диапазоне 1-30 ГГц с учетом сложной диаграммы направленности РАТАН-600 и некоррелированного шума приемников при различных временах накопления. В моделях учитывались излучение Галактики и температурный эффект Сюняева-Зельдовича. Разделение компонент излучения проводилось в Фурье-области методом максимума энтропии. Получено, что пространственное распределение анизотропии СМВ (рис. 55) и других компонент излучения можно восстановить с приемлемой точностью, если известны их спектральные зависимости и ковариационные свойства. Оценки спектра мощности СМВ, даже с учетом возросшей дисперсии выборки из-за небольшого размера площадки, можно использовать для наложения пределов на космологические параметры, например на Ω_b и Ω_m , к которым чувствительны второй и третий доплеровские пики. Хотя такое моделирование является достаточно идеализированным, тем не менее, оно показывает, что на РАТАН-600 можно получить приемлемые результаты даже с учетом сложности его диаграммы и при умеренных временах накопления. Проведена обработка данных на длинах волн 1.38, 2.7, 3.9 и 6.2 см для восстановления сигнала и оценки спектра мощности анизотропии СМВ на малых масштабах. Измерены уровни реликтового и галактического излучений и произведены оценки радиометрического шума по данным обзора RZF. За основу были взяты карты синхротронного, свободно-свободного и пылевого излучения из модели для миссии PLANCK. Кроме спектра мощности, полученного путем прямого интегрирования по всей небесной сфере, вычислялся спектр мощности по картам, на которых была исключена область плоскости Галактики.

Н.Н. Бурсов, В.И. Стояров.



ПОИСК ПРЕДСКАЗАНИЙ SUSY ПО ДАННЫМ ОБЗОРА RZF

Рис. 56. Производная dT_a/dt от стрип-интегрированных данных обзора RZF. Ступеньки в СМВ, возникающие на движущихся от эпохи инфляции струнах, дают антенный отклик как от точечного радиоисточника. Похожие эффекты видны в данных обзора RZF. Обработка всего массива данных дала возможность установить вклад струн в шум неба, который оказался значительно ниже прежних оценок.

Поиск единой теории поля привел к вариантам SUSY, которые обеспечивают объединение сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий, а также гравитации, решают проблему иерархий - одновременное существование больших и малых масс, создают недостающую темную материю во Вселенной. SUSY предсказывает существование одномерных гравитирующих структур (струн). Кайзер и Стеббинс предложили искать их по эффектам линзирования реликтового излучения. Наиболее разработанный вариант предсказывает наличие «ступенек» в СМВ. Это приводит к дополнительному шуму в фоновом излучении Вселенной. Первые поиски в обзорах OVRO, VLA, WMAP не дали удовлетворительных результатов. Результаты обработки многолетних многочастотных данных обзора RZF позволила точнее оценить вклад струн в шум СМВ. Мы предложили уйти от шума эпохи рекомбинации в область Силковского затухания на малые масштабы ($l > 3000$), максимально использовать высокое разрешение и попытаться увидеть не статистический шум, а отдельные струны. Можно указать (рис. 56) верхний предел на роль М-теорий в формировании анизотропии СМВ. Он оказался много ниже, чем получено по данным WMAP. Шум от струн, если они есть, много меньше шума адиабатических возмущений СМВ, и его роль в формировании крупномасштабной структуры Вселенной, скорее всего, незначительна. Привлечение данных с более высоким (секундным) разрешением позволит уточнить параметры М-теорий до наиболее интересных для этого варианта Единой физической теории уровней.

Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов.

СПЕКТРАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ФЛУКТУАЦИИ РЕЛИКТОВОГО ФОНА. На РАТАН-600 проведен поиск спектрально-пространственных флуктуаций излучения космического фона на волне 6.2 см в двух полосках размером $35' \times 7'$ в окрестности полюса Мира. Показано, что в полосе радиочастот ≈ 12 МГц и в диапазоне угловых периодов от $4'$ до $16'$ спектры пространственных флуктуаций имеют подъемы степенного характера со значениями показателя до -1.5 ± 0.5 , наблюдающиеся с периодичностью 2-3 МГц. Данные подтверждены наблюдениями на новом Фурье-спектроанализаторе. Обнаружены два узкополосных максимума на частотах 4870.4 и 4871.5 МГц с амплитудой соответствующих им флуктуаций 5 ± 0.5 мК по антенной температуре в области угловых периодов $\sim 5'$, имеющих ширину около 600 кГц. Подтверждена реальность этих деталей. Однако, природа обнаруженных особенностей излучения пока не ясна. Попытка связать это излучение с вращательными переходами молекулы CN^2 $P_{1/2} J = 5/2$, две компоненты мультиплета которого попадают в исследованный диапазон, оказалась безуспешной. Влияние аппаратуры и излучения земной атмосферы также представляется маловероятным. Показано, что случайно попавшая в полосу обзора

галактическая радиолиния СН (Λ -удвоение вращательного перехода) не имеет отношения к полученным спектрам, поскольку структура спектров в двух основных линиях Λ -удвоения совершенно различна, а мазерного усиления в линии СН практически нет. Линия $H110\alpha$ является вполне реальной и возникает в разреженном ионизованном водороде на сравнительно высоких галактических широтах. Другие детали пространственных спектров представляются нам также вполне реальными, хотя интерпретация их непонятна и требует дополнительных исследований.

И.В. Госачинский, В.К. Дубрович, А.П. Венгер.

АМПЛИТУДА СПЕКТРАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СМВ. Методом численного моделирования обнаружен эффект многократного нелинейного усиления амплитуды спектральных искажений СМВ для нестационарных неравновесных условий в эпоху рекомбинации. Наибольшую чувствительность к отклонениям от равновесия (различие температур вещества и излучения, нестационарность, пространственная неоднородность) имеет интенсивность линии бальмеровского континуума (современная длина волны 400-600 μ m). В зависимости от параметров неравновесности нелинейное усиление может быть на один-два порядка выше относительно линейного искажения. Данный эффект открывает уникальную возможность исследовать быстропеременные процессы с малым энерговыделением. Это может дать информацию о наличии первичных черных дыр средних масс (между массой Солнца и массой ядра современной галактики), параметрах нестабильной скрытой массы, протообъектах звездных масс и процессах сопровождающих их гравитационную эволюцию.

В.К. Дубрович, С.И. Грачев и В.Г. Романюк (СПбГУ).

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ. Исследована гипотеза о случайности распределения на небе положений гамма-всплесков (GRB). Если эти события связаны с массивными галактиками, спиральными либо эллиптическими, т.е. с областями звездообразования, то их расположение отражает крупномасштабную структуру, что, в свою очередь, могло бы сказаться на распределении флуктуаций микроволнового фона (СМВ). Мы проверили гипотезу корреляционным мозаичным картографированием распределений СМВ пиков и положения GRB и обнаружили корреляцию между распределениями этих сигналов, что можно объяснить возможными систематическими эффектами как в распределении всплесков в каталогах BATSE и ВерроSAX, так и особенностями в наблюдениях СМВ в точке L2.

О.В. Верходанов, В.В. Соколов, М.Л. Хабибуллина, С.В. Карпов. Астрофиз. бюлл., 65, 238 (2010).

ИССЛЕДОВАНИЕ КАРТ РЕЛИКТОВОГО ФОНА ПО ДАННЫМ МИССИИ WMAP

К ПРОБЛЕМЕ КОРРЕЛЯЦИИ КВАДРУПОЛЕЙ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ФОНОВЫХ КОМПОНЕНТ. Проанализированы причины высокой корреляции квадруполь СМВ с квадруполем фоновых компонент по данным WMAP, обработанных методом внутренней линейной комбинации (ILC). Оказалось, что высокая корреляция сигнала СМВ и мешающих фоновых компонент определяются знаком в моде $m=0$ квадруполь. Методом Монте-Карло проанализированы 10^4 моделей СМВ и его восстановления по методу ILC (Эрикссеном и др., 2004). Оказалось, что для 50% реализаций квадруполь СМВ моды $m=0$ со знаком, эквивалентным знаку фоновой компоненты, квадруполь исходных карт имеют противоположный с восстановленными картами знак. Если сохранить спектр мощности для квадруполь WMAP ILC(III) и изменить знак моды $m=0$, то получим коэффициент корреляции $< 10\%$, при этом уменьшается в 5-6 раз уровень кросс-корреляций. Подобный эффект наблюдается как для октуполь, так и для сферических гармоник с номерами $L=5,7,9$. Байес в карте СМВ ILC связан с коэффициентом кросс-корреляции истинного СМВ и фоновой компоненты излучения для каждого мультиполя l . Анализ кросс-корреляций для квадрупольной и октупольной компонент карт ILC WMAP также обнаруживает корреляции на уровне $\sim 0.52-0.6$. Проанализирована возможность исправления байеса в карте ILC СМВ. Оказалось, что восстановление реального байеса является весьма проблематичным из-за космической вариации сигнала.

О.В. Верходанов, П.Д. Насельский, М. Ниелсен (Дания). Astrophys. Bull., 63, 216 (2008).

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКИХ МУЛЬТИПОЛЕЙ КАРТ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Проанализированы фазы низких мультиполей карт реликтового излучения миссии WMAP, которые, как предполагается, связаны со свойствами Вселенной на самых ранних этапах развития, включая топологию пространства и образование первых структур. Была обнаружена значительная фазовая корреляция между квадрупольными карты WMAP и других фоновых компонент в каналах регистрации K-W. Морфология квадруполь является отражением карт наложенных фонов и сохраняется после разделения компонент. Оказалось, что простым поворотом на один угол можно из фаз сигнала получить фазы наложенных фонов. Этот эффект отражает факт, что фазы квадруполь являются следствием систематического эффекта, а не проявлением первичной негауссовости.

О.В. Верходанов, П.Д. Насельский (ЮФУ, Ин-т Нильса Бора, Дания).

НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗДЕЛЕНИЮ ILC-КОМПОНЕНТ СМВ ПО ДАННЫМ WMAP. Теоретически и моделированием исследован стандартный метод разделения компонент ILC (внутренней линейной комбинации) СМВ в пиксельном пространстве на сфере. Рассмотрены однородные выборки пикселей, у

которых отношение сигналов в наблюдательных каналах на разных длинах волн мало изменяется. Для разделения ICL-компонент предложен подход, модифицирующий их в сторону разбиения пикселей на однородные выборки. На моделях продемонстрировано качественное восстановление спектра мощности на фоне искажений у «проблемных» низких мультиполей сигнала на сфере. Применение этого подхода к данным WMAP дало увеличение амплитуды самого «проблемного» из мультиполей - квадруполя. Восстановленный сигнал в амплитуде решает и проблему существования «Оси Зла», которой в данном случае не возникает из-за других фазовых характеристик квадруполя. Этот подход может дать одно и возможных объяснений негауссовости низких мультиполей и использоваться в анализе данных миссии PLANCK.

О.В. Верходанов, А.Г. Дорошкевич (АКЦ ФИАН). Phys. Review D 83, No.4, 3002, (2011).

МЕТОД МОЗАИЧНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ. Разработан метод мозаичного корреляционного картографирования на сфере в двумерном и одномерном вариантах. Построены одномерные сечения карт WMAP: ILC и фоновых компонент (синхротронного, свободно-свободного излучения и излучения пыли) и исследованы их корреляционные свойства на различных угловых масштабах. Обнаружены значимые корреляции сечений карты ILC и карт галактических фоновых компонент на склонении $DEC=41^\circ$. Рассмотрены одномерные сечения карт WMAP ILC и распределения радиоисточников обзора NVSS на масштабах 0.75, 3, 4.5, 6.75 градусов и исследованы их корреляционные свойства. На картах выделены области, где абсолютная величина коэффициента корреляции превышает 0.5. Координаты областей каталогизированы. Количество таких зон соответствует модельным картам для случайного распределения сигнала CMB, что может свидетельствовать о простом статистическом совпадении расположения этих зон в картах фона и объектов NVSS.

О.В. Верходанов, М.Л. Хабибуллина, Е.К. Майорова, Ю.Н. Парийский. Astrophys. Bull., 63, 366 (2008).

РАСЧЕТ ПОЛЯРИЗАЦИИ CMB. Проведен анализ точности и применимости пакета GLESP-pol, являющегося расширением пакета GLESP 2.0, для анализа CMB на основе поляризации неба по методу Гаусса-Лежандра (GLESP). GLESP-pol включает в себя расчет поляризации на сфере. Согласно численным расчетам алгоритм позволяет вычислять карты поляризации по гармоническим коэффициентам и обратно с точностью $\sim 10^{-8}$. Для сравнения метода в аналогичных расчетах был применен пакет HEALPix 2.11. Оказалось, что единственная итерация в HEALPix 2.11 может привести к значительной ошибке при разложении на гармоники и должна применяться с осторожностью. Пакет GLESP-pol протестирован и открыт для всеобщего использования по адресу <http://www.glesp.nbi.dk>.

А.Г. Дорошкевич (АКЦ ФИАН), О.В. Верходанов, П.Д. Насельский и Дж. Ким (NBI), Д.И. Новиков (UK; АКЦ ФИАН), В.И. Турчанинов (ИПМ), Л.-Ю. Чейнг (Китай), М. Хансен (NBI). arXiv: 0904.2517.

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА СФЕРЕ. Метод картографирования корреляций на полной сфере, позволяющий проверять качество восстанавливаемых карт, апробирован на данных WMAP и обзора NVSS. Для построенных карт корреляций по данным WMAP5 (карты ILC и фоновых излучений: синхротронного, свободно-свободного и пыли) на масштабах 162', 324' и 540' обнаружен сдвиг в распределении значений пикселей для пыли и синхротронного излучения, указывающий на возможную переоценку их вклада при разделении компонент ILC. Обнаруженное смещение в корреляционных данных пылевой компоненты может быть обусловлено более сложной ее моделью.

О.В. Верходанов, М.Л. Хабибуллина, Е.Л. Майорова, Астрофиз. бюлл., 64, 263 (2009).

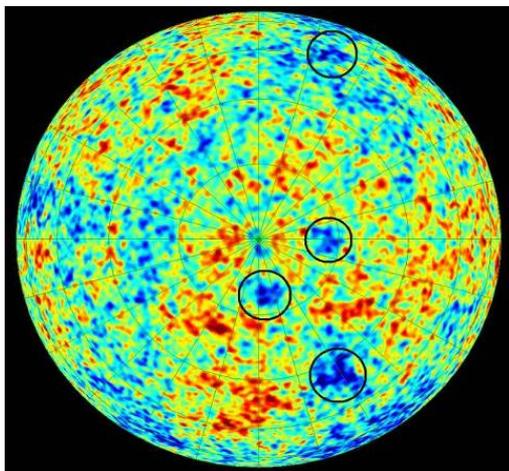


Рис. 57. Поиск пятен на сфере по распределению числа экстремумов. Выделяются пятна (кружки), вокруг которых существует повышенное число экстремумов.

ХОЛОДНОЕ ПЯТНО НА КАРТАХ МИССИИ WMAP.

Методом кластерного анализа обработаны данные миссии WMAP в области аномального Холодного пятна (Cold Spot, $l=209^\circ$, $b=-57^\circ$). Пятно ассоциируется с большой группой экстремумов, что говорит о статистической неоднородности карты, проявляющейся к югу от Галактической плоскости. Это пятно с повышенным числом прилежащих экстремумов не является единственным (рис. 57). Форма Холодного пятна полностью определяется мультиполями в интервале $10 \leq l \leq 20$, соответствующим угловым масштабам $5^\circ-10^\circ$. Присутствие этого сигнала приводит к модуляции излучения по всему небу и наблюдается в картах CMB, например, на $|b| > 30^\circ$. После вычитания модуляции оставшаяся часть фона на рассматриваемых мультиполях получается статистически однородной (гауссовой). Таким образом, наличие Холодного пятна скорее отражает пекулярное поведение низкомультипольной части сигнала CMB, чем локальный дефект или глобальную анизотропию.

В.О. Верходанов, П.Д. Насельский, П.Р. Кристенсен и Я. Ким (Дания), П. Коулс (UK), Д.И. Новиков (UK, АКЦ ФИАН). Astrophys. Bull. 65, 101 (2009).

СТАТИСТИКА ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СМВ В НАПРАВЛЕНИИ НА ДАЛЕКИЕ РАДИОГАЛАКТИКИ.

Для 2442 радиогалактик с красными смещениями $z > 0.3$ проведен анализ амплитуды флуктуаций температуры СМВ на карте ILC в релизе седьмого года наблюдений миссии WMAP в точках, соответствующих направлению на эти объекты. Определена дипольная компонента фона и проверена гипотезу Кашлинского о существовании «темного потока», определяемого для оцененной дипольной компоненты СМВ WMAP по величине анизотропии СМВ в направлении на скопления галактик. Показано, что амплитуда этого диполя $T_{\text{max}} = 0.012$ мК находится внутри интервала $\pm\sigma$, оцененного путем моделирования Монте Карло для гауссовых флуктуаций сигнала СМВ в Λ CDM-модели. Низкая амплитуда диполя говорит о невозможности по данным WMAP подтвердить эту гипотезу. Исследована статистика амплитуды флуктуаций микроволнового сигнала в направлении на радиогалактики. Обнаружено ослабление абсолютного значения средней величины сигнала в соответствующих областях. По данным оптического и радио диапазонов для этих же радиогалактик оценены массы центральных СМЧД и построены соотношение «масса ЧД-красное смещение». Рассмотрены особенности распределения источников на этой диаграмме и систематические эффекты, влияющие на оценки параметров. Рассчитаны огибающие кубические регрессии, построенные по максимумам оценок масс черных дыр. Кривые в разных диапазонах показывают схожее поведение. Они имеют очень близкий пик по положению $z_p \approx 1.9$ и по амплитуде $\log M_p^{\text{bh}} = 9.4$. Этот результат согласуется с моделью саморегулирующегося роста СМЧД, когда наступает фаза окончания аккреционного потока и активность AGN падает.

М.Л. Хабибуллина, О.В. Верходанов. ПАЖ, 36, 9 (2010); АЖ, 88, 333 (2011).

ПЕРЕМЕННЫЕ РАДИОИСТОЧНИКИ

ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ С ПЛОСКИМИ СПЕКТРАМИ. Завершен анализ 20-летних наблюдений в диапазоне 0.97–21.7 ГГц полной выборки 68 источников ($S_{3.9 \text{ ГГц}} > 200$ мЯн) с плоскими спектрами. С оптическими объектами отождествлено 56 источников, из них 41 источник - квазары с красными смещениями от 0.293 до 3.263. Исследование кривых блеска и спектров показало, что в большинстве случаев динамика развития вспышки соответствует модели, в которой переменность есть результат эволюции ударной волны в джете радиоисточника. Свойства долговременной переменности и спектральные характеристики демонстрируют отсутствие зависимости истинных линейных размеров излучающих областей, индексов переменности и частот максимумов в спектрах компактных компонент от красного смещения. Предполагается, что это свидетельствует об отсутствии космологической эволюции квазаров, по крайней мере, до красных смещений ~ 3 .

М.Г. Мингалиев, А.Г. Горшков и В.К. Конникова. (ГАИШ МГУ).

GPS-ИСТОЧНИКИ. В результате 5-летнего мониторинга на частотах 1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц 123 кандидатов на РАТАН-600 уверенно выделено 33 GPS-источника (Gigahertz Peaked Spectrum). Обнаружено статистически значимое (99.5%) отличие среднего спектрального индекса оптически тонкой части спектра для галактик (-0.93 ± 0.07) и квазаров (-0.70 ± 0.04). Результат указывает на более крутое падение в распределении электронов по энергиям ($dN(E) = kE^{-\gamma}dE$) для GPS-галактик, чем для GPS-квазаров – разность показателя степени ~ 0.46 . Возможная интерпретация этого факта: а) наблюдаемая выборка галактик, если рассматривать собственный возраст, старше выборки квазаров, и укрупнение их энергетического спектра связано с дополнительными по отношению к квазарам возрастными потерями энергии на излучение; б) собственные возрасты выборок квазаров и галактик примерно одинаковы, а наблюдаемое отличие в γ связано с тем, что галактики в выборке появились позже квазаров, чем квазары на близких красных смещениях, то есть существует космологическое отличие в энергетических спектрах электронов.

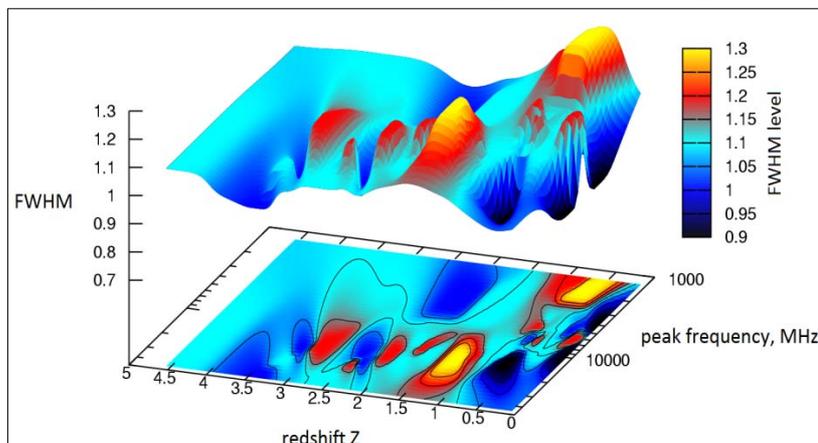


Рис. 58. – Отношение «красное смещение – пиковая частота – FWHM» для источников с $FWHM \leq 1.3$; пиковая частота дана в системе отсчета источника.

В выборке есть достаточно источников (рис. 58) с узкими спектрами. Самые узкие спектры оказались как у источников с большим, так и малыми z . Большинство квазаров быстрее выбывают из списка GPS-кандидатов

как переменные радиисточники с временно инвертированным плоским спектром. В результате одновременных наблюдений (Planck, 30-857 ГГц; PATAH-600, 1-22 ГГц) в 2009-2010 гг. получены экспериментальные кривые спектрального распределения энергии (SED) для ряда квазаров исследуемого списка. Физическая интерпретация указывает на присутствие одно и/или двухкомпонентной структуры SED для GPS-квазаров.

И. Торнианен и М. Торниковски (Финляндия), М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, А.К. Эркенов.

ОБЪЕКТ ТИПА VL LAC J2022+76. На частотах 4.8, 7.7 и 11.2 ГГц обнаружены вариации радиоизлучения на масштабе суток. Максимумы на трех частотах совпадают по времени. Коэффициент корреляции между кривыми на 11.2 и 7.7 ГГц - 0.7, а между 7.7 и 4.8 ГГц - 0.6. Амплитуда переменности растет с уменьшением частоты. Одновременные радиоспектры источника J2022+76 по данным 1999-2007 гг. разделяются в рамках двухкомпонентной модели на протяженную компоненту со степенной функцией и компактную с квадратичной. Допущена интерпретация переменности как рассеяние излучения на межзвездной среде. В этом случае амплитуда переменности должна иметь максимум вблизи 5 ГГц, что подтверждается нашими данными. Интерпретировать переменность источника гравитационным линзированием сложно из-за отсутствия измеренного красного смещения исследуемого источника и объекта, находящегося близко к лучу зрения. Угловое расстояние между J2022+76 и геометрическим центром близкого объекта $\sim 7''$, что, в принципе, не исключает действие этого эффекта, в том случае, если этот источник ближе к наблюдателю, чем J2022+76.

М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Н.С. Кардашев и М.Г. Ларионов (АКЦ ФИАН).

РАДИОИСТОЧНИКИ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА МИРА. Проанализированы многочастотные (1-21.7 ГГц) мгновенные спектры полной по плотности потока выборки ($S_{1.4\text{ГГц}} \geq 200$ мЯн) радиисточников вблизи Северного полюса Мира в течение 30 дней. Выявлены 15 объектов, обнаруживающих быструю переменность на масштабах суток, которая присуща объектам различных спектральных классов. Более чем у половины источников с быстрой переменностью наблюдается увеличение амплитуды переменности с ростом частоты. Амплитуда переменности не превышает 10%, и для большинства источников амплитуда переменности растет с ростом частоты, хотя у части объектов она практически не меняется. Переменность радиоизлучения на масштабах суток присуща объектам различных спектральных классов. Исследована долговременная переменность объектов на интервале 8-11 лет. В выборке преобладают источники, спектральная плотность потока которых описывается степенным законом и убывает с частотой. Исследования выявили 46% источников с переменностью плотности потока радиоизлучения от 30% и выше (по уровню 5σ) на 3-4 частотах (21.7, 11.2, 7.7 и 4.8 ГГц). Обнаружено, что средний индекс переменности для объектов растет слабо как с частотой (уровень - 0.3-0.5 в диапазоне частот 4.8-21.7 ГГц), так и со спектральным индексом.

М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Н.С. Кардашев и М.Г. Ларионов (АКЦ ФИАН). АЖ, 86, 531 (2009).

РАДИОИСТОЧНИКИ С ХАРАКТЕРНЫМ ИНТЕРВАЛОМ ПЕРЕМЕННОСТИ МЕНЬШЕ МЕСЯЦА. У одиннадцати источников из полной по плотности потока выборки с плоскими спектрами (68 объектов; $Decl = 04^\circ \pm 06^\circ$) обнаружена переменность с характерными временами τ_{act} от 3 до 30 дней. С 1984 г. проведено шесть сетов наблюдений длительностью от 53 до 103 дней на 6 частотах в диапазоне от 0.97 до 21.7 ГГц. По характеру переменности источники разделяются на четыре группы: периодический процесс (рис. 59а); квазипериодический процесс (рис. 59б), сумма двух циклических процессов с разными амплитудами и характерными временами (рис. 59г); случайные процессы (рис. 59д). В большинстве случаев имеющихся параметров переменности достаточно для разделения внутренней и внешней переменности. Падающий спектр на низких частотах однозначно свидетельствует в пользу внешнего происхождения переменности, а падающий спектр на высоких частотах при отсутствии обнаруженной переменности на низких частотах, скорее всего, указывает на внутреннюю причину переменности. Плоские спектры переменной компоненты тоже относятся к внешней переменности и являются следствием увеличения степени компактности мерцающего источника с ростом частоты. Большое значение индекса модуляции на высоких галактических широтах указывает на внутреннюю причину недельной переменности независимо от вида спектра. Характерные времена переменности сами по себе не могут служить аргументом в пользу той или другой гипотезы. Необходимым условием существования недельной переменности является наличие у объекта сильной долговременной вспышечной переменности. Однако нет непосредственной связи между фактом существования недельной переменности и фазой долговременной активности. В одних источниках может быть корреляция между существованием недельной переменности и фазой долговременной активности, в других такая корреляция отсутствует. Феномен недельной переменности представляет большой интерес для понимания природы источников космического радиоизлучения, и эти исследования будут продолжены.

А.Г. Горшков и В.К. Конникова, (ГАИШ МГУ), М.Г. Мингалиев.

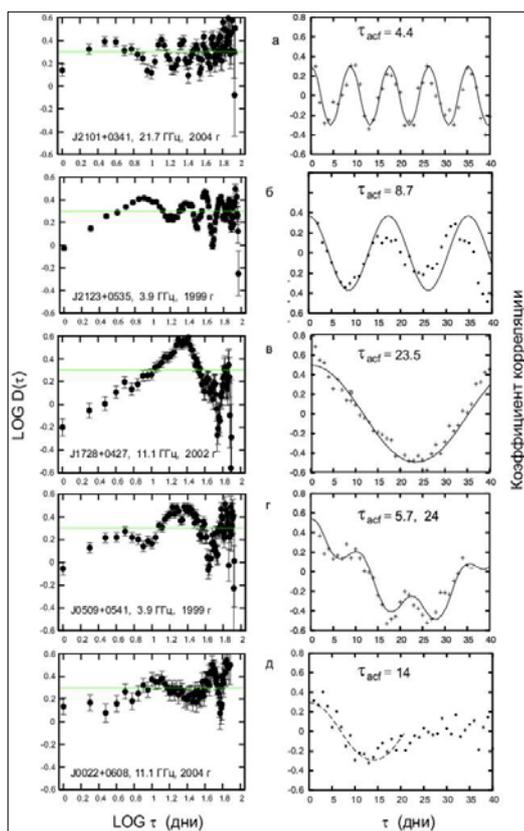


Рис. 59. Примеры структурных (слева) и автокорреляционных (справа) функций для некоторых объектов. Сплошные кривые – аппроксимации АСФ, по которой получены указанные на рисунках характерные времена.

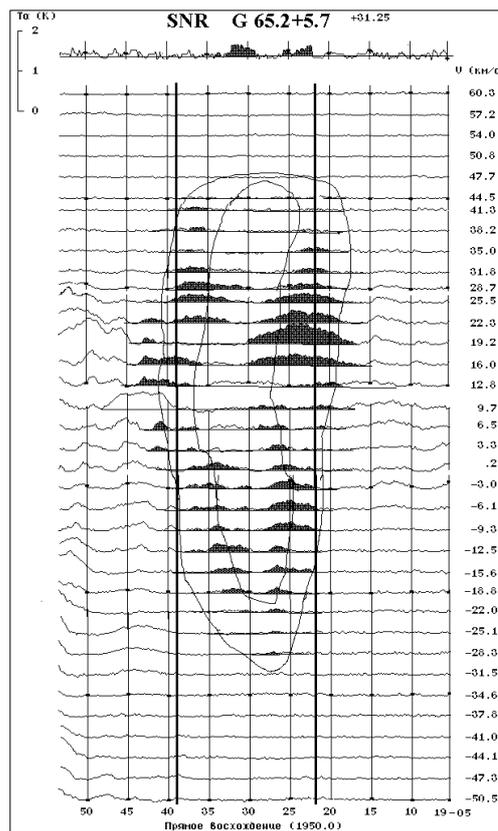


Рис. 60. Излучение NI в координатах $(\alpha-V)$ на склонении $+31.25^\circ$ (верхняя кривая – запись остатка в непрерывном спектре). Жирными линиями обозначен угловой размер остатка в непрерывном спектре, тонкими линиями – предполагаемая нами оболочка NI.

ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА ОСТАТКА СВЕРХНОВОЙ G 65.3+5.7. G 65.2+5.7 имеет самый большой угловой размер среди остатков оболочечного типа. По наблюдениям нейтрального водорода на волне 21 см около G 65.2+5.7 обнаружена расширяющаяся оболочка NI диаметром 44 пс, оставшаяся после старого взрыва сверхновой с энергией порядка 10^{51} эрг и возрастом 440 тысяч лет, совпадающая по координатам с радио и оптическим остатком (рис. 60). По данным Vizier в области радиусом 2.5° от центра оболочки не обнаружено ни одной звезды класса O-B, так что она не связана со звездным ветром от горячих звезд. Поскольку в этой же области наблюдается рентгеновское излучение от гораздо более молодого остатка сверхновой (27 тыс. лет), а оболочки, обнаруженные по небулярным линиям, имеют возраст, по-видимому, промежуточный, высказано предположение, что здесь произошло несколько последовательных взрывов сверхновых.

И.В. Госачинский, А.П. Венгер, З.А. Алферова.

МОНИТОРИНГ МИКРОКВАЗАРОВ

МИКРОКВАЗАР Cyg X-3. При мониторинге в 2006-2008 гг. (500^d) микроквара (рентгеновская двойная, в состав которой входит, вероятно, черная дыра и массивная звезда Вольфа-Райе) зарегистрированы больше десяти вспышечных событий в диапазоне 1-30 ГГц. Наблюдения на РАТАН-600 (1-30 ГГц) сопровождались короткими сетями на РФФ-32 (ИПА РАН), РТ 45-м и NMA (NRO NAOJ) в диапазоне 2, 8.5 и 98/110 ГГц. В период относительно жесткого рентгеновского излучения (2002-2005 гг.) не было ни одной радиовспышки ярче 1 Ян, что указывает на отсутствие мощных истечений из микроквара. В начале 2006 г. были зарегистрированы мощные радиовспышки с амплитудой от 1 до 17 Ян, и Cyg X-3 перешел в состояние с очень высоким и мягким рентгеновским излучением (данные RXTE и Swift/BAT). В ноябре 2006г. на РАТАН-600 и NMA было зарегистрировано быстропеременное излучение от 1 до 110 ГГц (Щубои и др. ATEL #952). В апреле 2008 г. мощная вспышка Cyg X-3 в радиодиапазоне четко коррелировала со вспышкой в жестком рентгеновском диапазоне (рис. 61). Обнаружены очень короткие и яркие вариации потока в миллиметровом диапазоне волн, происхождение которых связано с формированием коллимированного релятивистского струйного выброса из внутренних областей аккреционного диска вокруг релятивистского объекта. Сделан вывод о тесной связи образования коллимированных релятивистских потоков вещества из центральных областей системы, которые сопровождаются кардинальной перестройкой структуры и

энергетики аккреционного диска и горячей короны. В ноябре 2008 г. была зарегистрирована еще одна яркая вспышка микроквара, которой предшествовало затухание источника до 10-20 мЯн. Такое поведение объекта перед вспышкой предполагает реализацию одного и того же механизма зарождения струйного выброса в процессе интенсивной аккреции вещества звезды Вольфа-Райе на релятивистский объект. Обнаружено, что эволюция радиоизлучения в этой вспышке Cyg X-3 может быть объяснена в модели с внутренними ударными волнами, релятивистски движущимися по струе.

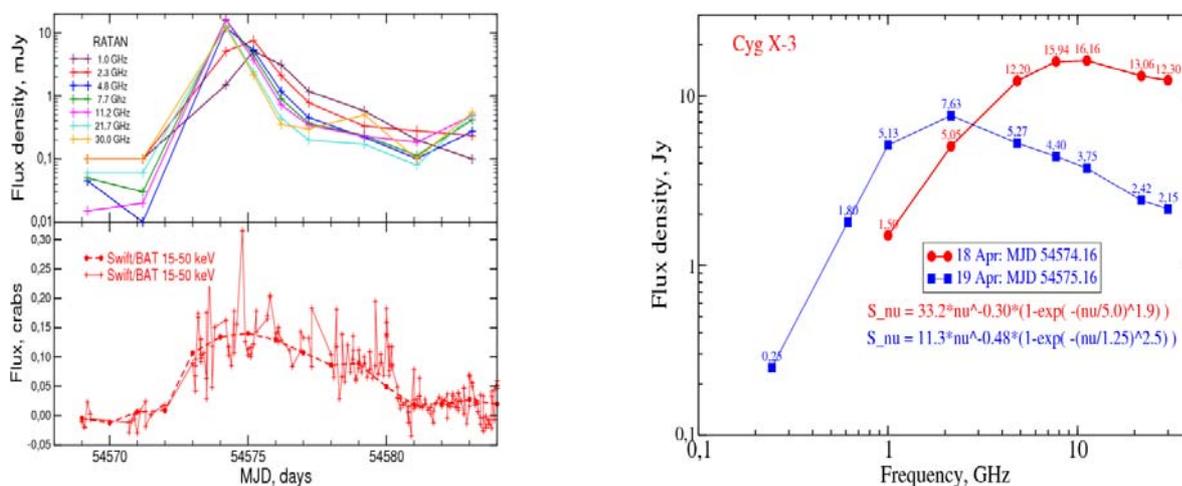


Рис. 61. Слева - наблюдения вспышечной активности Cyg X-3 в апреле 2008 г. (РАТАН-600 и Swift/BAT 15-50кэВ); справа - эволюция спектра вспышки на стадии роста.

Численный расчет модели показал наблюдаемые кривые блеска и радиоспектры вспышечного события, но не объяснил начальное развитие вспышки. Оптическая толщина радиоизлучения струйного выброса на 1 ГГц растет по мере развития вспышки, а не убывает, как следует из традиционного физического рассмотрения, что может быть связано с распространением сильных внутренних ударных волн по струе и с неучтенными потерями энергии релятивистскими электронами на обратное комптоновское рассеяние. Следует учесть и реальную возможность, что при возрастании активности в рентгеновском диапазоне, радиоизлучение затухает, что может быть объяснено усилением поглощения радиоволн от струйного выброса в тепловой оболочке, где растет концентрация тепловых электронов. Аналогия радиоизлучения квазаров и микроквараз предполагает, что модели, основанные на конечных струйных сегментах, могут использоваться для объяснения кривых блеска и спектров активных ядер галактик и квазаров.

С.А. Трушкин, Н.Н. Бурсов, Н.А. Нижельский, П.Н. Войцук, М. Цубои (NRO NAOJ, Япония). ATel No 1881 (2008).

МНОВОЛНОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОКВАЗАРОВ. Часто галактические рентгеновские двойные звезды (РДЗ) характеризуются транзитентным радиоизлучением, которое тесно связано с явлением струйных выбросов аккрецирующего вещества из окрестностей массивных и сверхмассивных черных дыр в РДЗ и АЯГ. Известны степенной закон на плоскости «радиосветимость струй-рентгеновская светимость» для разнообразных объектов с аккрецирующими черными дырами и гистерезисная зависимость эволюции мягкого рентгеновского излучения – диаграмма «жесткость – светимость» (HID). Именно вдоль этой диаграммы меняются свойства многих рентгеновских двойных систем и выявлена зона формирования радиоджета (Фендер и др. 2006).

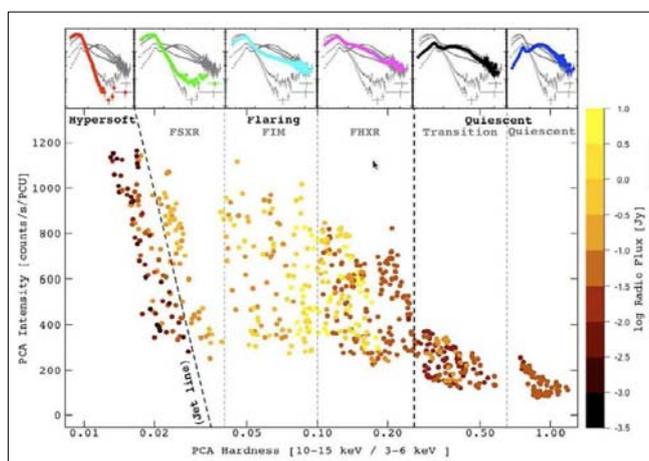


Рис. 62. Диаграмма «жесткость – интенсивность» микроквара Лебедь X-3 (RXTE/PCA). Каждая точка на графике окрашена цветом, в соответствии с радиопотоком в данный момент. Шкала радиопотоков приведена справа. Сверху показаны шесть рентгеновских спектров, соответствующих шести состояниям рентгеновской активности. Именно переход из «сверхмягкого» состояния приводит к ярким радиовспышкам.

На основе 140 архивных данных по мягкому рентгеновскому излучению (RXTE/PCA) и одновременных наблюдений в радиодиапазоне (ПАТАН и телескоп Райла) была исследована диаграмма «жесткость – светимость» для Суг X-3 (рис. 62). Хотя диаграмма не повторяет HID для GX339-4, GSR1915+105 и др., в целом электромагнитное излучение Суг X-3 подчиняется четким закономерностям, впервые выявленными на ней. Определены эволюционные треки излучения и выделены шесть состояний рентгеновской активности. Так как природа Лебеда X-3 до сих пор не определена окончательно, то струйная структура и сходное поведение на диаграмме HID косвенно указывает на связь физической природы Лебеда X-3 с рентгеновскими двойными, в состав которых определенно входят черные дыры.

С.А. Трушкин.

SS 433. 28 октября 2008 г. была зарегистрирована мощная вспышечная активность объекта в диапазоне 1-22 ГГц. Затем 6 ноября был проведен 5-часовой сеанс РСДБ-картографирования объекта на частоте 5 ГГц системой e-VLBI, объединяющей около десяти европейских радиотелескопов. На изображении с разрешением около 0.005", что соответствует $5 \cdot 10^{14}$ см на расстоянии до SS433 (5 кпк), видны три пары облаков релятивистских частиц, разлетающихся от центрального объекта, с моментами инъекции 24 октября, 3 ноября и 6 ноября (рис. 63, справа).

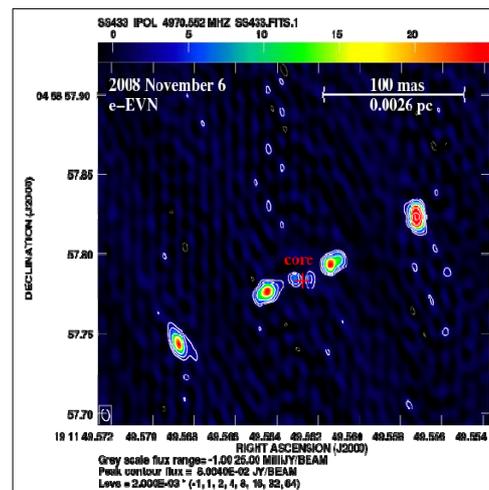
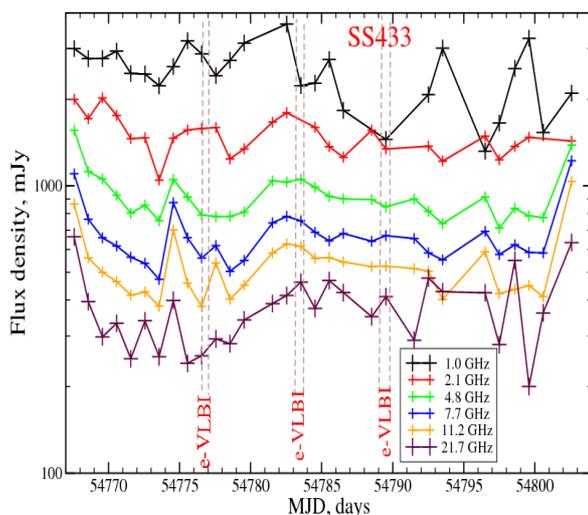


Рис. 63. Слева - кривые блеска SS433 в ноябре 2008г. (ПАТАН-600); справа - VLBI-карта на 5 ГГц, полученная 6 ноября 2008 г.

Это объясняет уярчения полного потока на кривых блеска (рис. 63, слева). Анализ кинематики облаков указывает на определяющую роль взаимодействия струйных выбросов с окружающей средой, что приводит к сильной коллимации струи и удерживанию пузырей от бокового расширения. Центральный объект не обнаружен из-за сильного самопоглощения радиоизлучения в системе. Были проведены еще два сета РСДБ наблюдений с угловым разрешением $\sim 0.05''$. Новые временные и спектральные данные по рентгеновскому и радиоизлучению SS 433 значительно продвинули нас в понимании процессов образования мощных выбросов вещества из центральных областей микрокварзаров и их взаимодействия с аккреционным диском и горячей короной.

С.А. Трушкин, Н.А. Нижельский, В. Тудоши (UvA), З. Параги (Голландия), Р. Фендер (Великобритания), Р. Спенсер (Великобритания). ATel #1836, 1838.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ДВОЙНАЯ СИСТЕМА LSI+61°303. Проведен 130-дневный мониторинг микрокварзара на 4 частотах (2.1, 4.8, 7.7 и 11 ГГц). Зарегистрировано шесть вспышек. Построены детальные кривые блеска источника для шести циклов (рис. 64). Максимумы вспышек наблюдались в фазе $\theta_1 = 0.70 \pm 0.05$ орбитального периода P_1 (26.5^d). Отметим, что наблюдения проводились вблизи фазы $\theta_2 = 0.0$ сверхорбитального периода P_2 (1667^d). Мы сравнили наши кривые радиоблеска GT0236+61 с данными, полученным в 1995 г. (США, GBI) в той же фазе P_2 , и обнаружили, что в последнем случае максимумы блеска наблюдались вблизи фазы $\theta_1 = 0.60$. Известно, что фаза максимумов радиоблеска источника для периода P_1 меняется в пределах $\theta_1 = 0.4-0.8$, и это связано с фазой периода P_2 . Обнаруженный нами сдвиг фазы максимумов для одной и той же фазы P_2 вероятно связан с нестабильностью сверхорбитального периода или с его неточным определением. В последнем случае сверхорбитальный период должен быть меньше ($P_2 \sim 1600^d$). Вероятнее всего причиной модуляции свойств синхротронного излучения является прецессия струйных выбросов. Рентгеновское и радиоизлучение возникает в результате синхротронного механизма, а гамма-излучение сверхвысоких энергий возникает в процессе обратного комптоновского рассеяния звездных фотонов на релятивистских электронах в струях. Однако природа сверхорбитального периода пока не ясна.

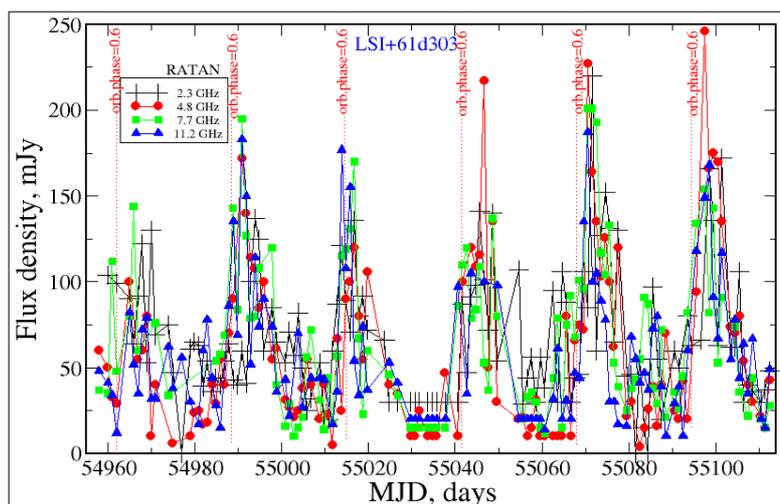


Рис. 65. Кривые блеска микроквара LSI+61°303 в мае-октябре 2009 г. на четырех частотах.

С.А. Трушкин, Н. Нижельский, Н.Бурсов.

Изучение Солнца в радиодиапазоне

ДОЛГОЖИВУЩИЕ МИКРОВСПЛЕСКИ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН. Впервые проведено статистическое исследование долгоживущих микровсплесков (МВ) в дециметровом диапазоне, которые наблюдались в интенсивности и круговой поляризации с чувствительностью ~5-10 Ян. Поток МВ лежит в диапазоне 0.001-0.1 с.е.п., степень поляризации – от 10% до 100%, продолжительность индивидуальных импульсов ~1-2 секунды. Микровсплески могут проявляться в одной и той же активной области в течение нескольких дней. Выполнено сопоставление МВ с шумовыми бурями в метровом диапазоне (NS). Весьма вероятно, что МВ являются проявлением NS в дециметровом диапазоне. Проанализирована возможная причина существенного различия потоков радиоизлучения между МВ и NS. В рамках единой модели генерации радиоволн для МВ и NS оказывается, что МВ связаны с некогерентным механизмом генерации ленгмюровских волн в отличие от всплесков I типа. Излучение МВ по своему характеру ближе к континуальному излучению шумовых бурь, но в силу высокого темпа питч угловой диффузии оно имеет импульсный характер.

В.М. Богод, Л.В. Яснoв, А.Г. Ступишин (СПбГУ).

МОДЕЛЬ ТРЕХМЕРНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПЕТЛИ. Модельные расчеты теплового циклотронного излучения простейшей трехмерной горячей петли (тора) показали, что она может внести заметные изменения в характеристики излучения солнечной активной области на см и дм волнах. Проведен анализ условий, для которых спектр излучения активной области, содержащей корональную петлю, становится сложным, а именно, с несколькими максимумами или сравнительно узкополосными циклотронными линиями, с неоднократной сменой знака поляризации по диапазону. В моделировании использовались: структура магнитного поля, величина электронной концентрации, размер петли, положение источника на диске. Получены двумерные распределения яркостных температур на разных длинах волн для обыкновенной и необыкновенной мод, спектральные зависимости яркостной температуры в фиксированных точках петли, а также интегральные характеристики потока и поляризации излучения. Ожидаемое распределение поляризации по источнику в рассматриваемой модели сравнивается с результатами наблюдений на РАТАН-600 активной области AR 7962 12-14 мая 1996 г., в которой эффект инверсии поляризации имел характеристики, близкие к расчетным.

Е.Я. Злотник, Т.И. Кальман, О.А. Шейнер. ПАЖ, 33, 168 (2007); ПАЖ, 33, 327 (2007).

СПИРАЛЬНАЯ ВЫСОТНАЯ СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НАД ПЯТНОМ. Для исследований солнечной короны с помощью нового спектрального комплекса высокого разрешения (3-18 ГГц) разработан метод построения высотной структуры коронального магнитного поля. Была обнаружена высотная спиральная структура магнитного поля над стабильным пятном в активной области АО 0953. Существование таких структур объясняет природу большой протяженности тонких арок, в которых осуществляется перенос энергии с помощью МГД-волн. Тонкие арочные структуры регулярно наблюдаются в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах на космических аппаратах.

В.М. Богод, Т.И. Кальман.

СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ СОЛНЦА. Достигнута предельно возможная чувствительность при измерениях излучения короны Солнца радиоастрономическим методом благодаря наблюдениям полного затмения 29 марта 2006г. с помощью РАТАН-600 вследствие его большой эффективной площади и отсутствия рассеянного фона в диапазоне волн 1 – 30 см (рис. 66). Обнаружено существование мощного радиоисточника над Северным полюсом Солнца в области полярной корональной дыры, контраст которого

резко растет в сторону коротких волн и доминирует на волнах порядка 2.0 см. Интенсивность этого источника составляет величину около 1-1.5 % от уровня спокойного Солнца. Обнаружена его тонкая пространственная структура с флуктуациями на уровне 0.06%. В излучении полярной корональной дыры обнаружена граница перехода от уярчения к потемнению на длине волны 3.5 см. Эти факты являются определяющими для выбора модели солнечного цикла.

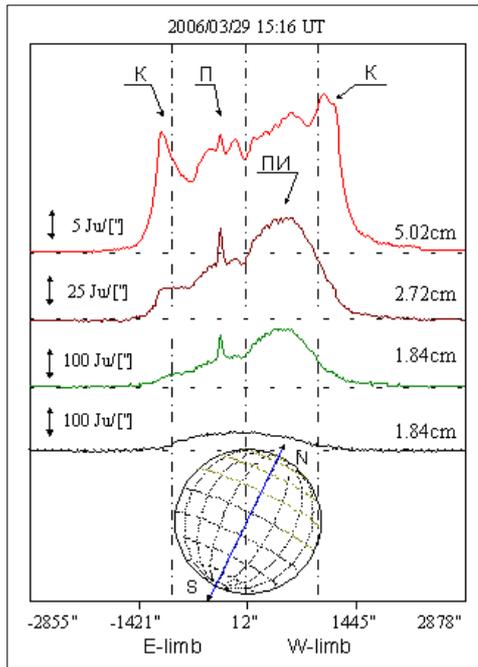


Рис. 66. Полные сканы потока радиоизлучения северной полосы Солнца на волнах 5.02, 2.72 и 1.84 см, сделанные во время максимальной фазы полного солнечного затмения. На нижней кривой представлен скан радиоизлучения Луны на волне 1.84 см. На всех волнах проведено вычитание потока Луны. Масштабы приведены слева вертикальными отрезками в единицах $Jy/arcmin^2$. Видно значительное различие формы сканов по диапазону. На 5.02 см заметно выделяется излучение короны вне оптического диска, которое, практически, исчезает на 1.84 см. Понижение излучения в центре диска на волне 5.02 см связано с полярной корональной дырой. Узкий радиоисточник на всех волнах связан с высокоширотным протуберанцем. В западной части диска выделяется радиоисточник, контраст которого растет в сторону коротких волн. Учет позиционного угла Солнца указывает на его расположение над солнечным северным полюсом.

В.М. Богод, Н.Н. Бурсов, В.И. Гараимов, О.А. Голубчина, Г.Н. Жеканис, А.Н. Коржавин, В.С. Котельников, Н.А. Нижельский, А.А. Перваков, П.Г. Цыбулев.

ВСПЫШЕЧНО-АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ. Исследовались различные проявления инверсий знака круговой поляризации солнечного радиоизлучения в микроволновом диапазоне волн. Это явление проявляется в излучении вспышечно-продуктивных активных областей (ВПАО) на различных стадиях развития, начиная с их предвспышечной стадии и, вероятно, отражает глубинные процессы в них. Рассмотрены несколько механизмов, которые могли бы приводить к двойной инверсии знака поляризации по частотному спектру и к эффекту провала в спектре. Подробно изучены следующие механизмы: линейное взаимодействие волн в области квазипоперечного магнитного поля; распространение радиоволн через область с нулевым магнитным полем; распространение радиоволн через вышележащие токовые слои; рассеяние радиоволн при прохождении через волокна и магнитные дыры, в которых направление магнитного поля меняет знак по направлению к наблюдателю. Сделаны оценки вероятности предложенных механизмов.

В. Богод, Л. Яснов. Солнечная физика, 255, 253 (2009).

ВСПЫШЕЧНО-АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ. Исследовались различные проявления инверсий знака круговой поляризации солнечного радиоизлучения в микроволновом диапазоне волн. Это явление проявляется в излучении вспышечно-продуктивных активных областей (ВПАО) на различных стадиях развития, начиная с их предвспышечной стадии и, вероятно, отражает глубинные процессы в них. Рассмотрены несколько механизмов, которые могли бы приводить к двойной инверсии знака поляризации по частотному спектру и к эффекту провала в спектре. Подробно изучены следующие механизмы: линейное взаимодействие волн в области квазипоперечного магнитного поля; распространение радиоволн через область с нулевым магнитным полем; распространение радиоволн через вышележащие токовые слои; рассеяние радиоволн при прохождении через волокна и магнитные дыры, в которых направление магнитного поля меняет знак по направлению к наблюдателю. Сделаны оценки вероятности предложенных механизмов.

В. Богод, Л. Яснов. Солнечная физика, 255, 253 (2009).

ВЫСОТНАЯ СТРУКТУРА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ. Методами многоволновой радиоастрономии измерены высотные распределения магнитных полей над пятнами, которые сопоставлены с данными космических обсерваторий (SOHO/MDI и TRACE). Магнитные поля напряженностью около 1000 Гаусс находятся на достаточно больших высотах в атмосфере Солнца (от 10 до 25 тыс.км), что подтверждает наблюдения магнитных петель по космическим данным в ультрафиолетовых линиях, указывающие на малую расходимость магнитных силовых трубок (рис. 67). Эти данные противоречат существующим общепринятым моделям магнитного поля. Для интерпретации данного результата необходимо использовать модели для сильно структурированного и скрученного вертикального магнитного поля над пятном.

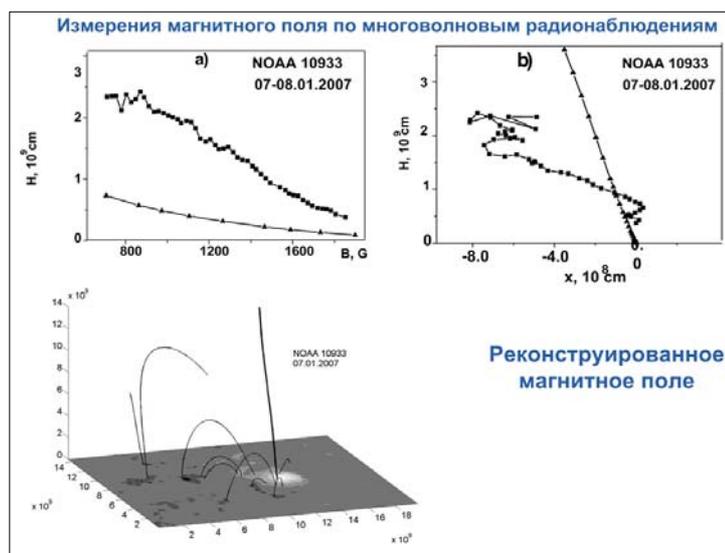


Рис. 67. Результаты высотных измерений магнитного поля в активной области методом многоволновой стереоскопии и сопоставление с реконструированным в корону магнитным полем фотосферы.

В.М. Богод, Л.В. Яснов (СПбГУ). *Астрофиз. бюлл.*, 64, 333 (2009).

ИСТОЧНИКИ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С НЕОБЫЧНЫМИ СПЕКТРАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ. На РАТАН-600 при исследовании активных областей, производящих мощные вспышки, были обнаружены источники с необычными спектральными особенностями в виде резкого уменьшения интенсивности поляризованного излучения в различных частях регистрируемого частотного диапазона (2-16 ГГц), иногда переходящие в смену знака поляризации (рис. 68). Моделирование явления указывает на наличие горячей корональной петли на высотах около 10 Мм, достаточно больших по сравнению с высотой переходной области около 2-5 Мм. Для ряда активных областей получены параметры этого горячего образования - напряженность магнитного поля (360-450 Гс) и произведение относительного градиента магнитного поля на размер (0.26-0.63).

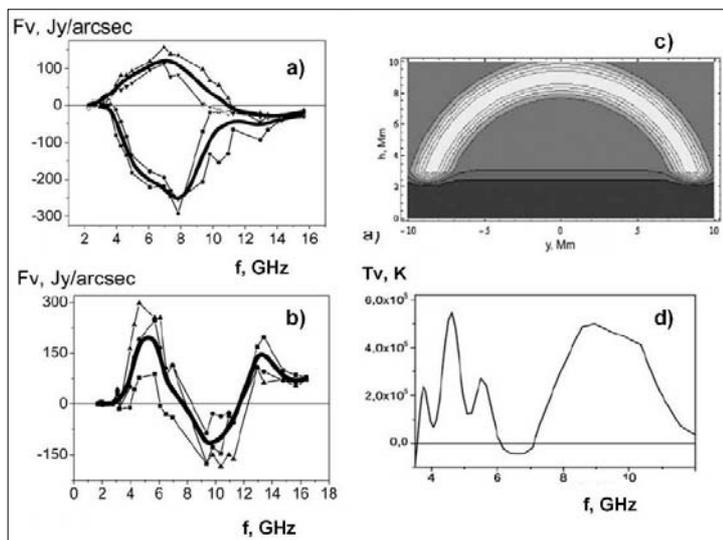


Рис. 68. а) - спектры поляризации для стабильной активной области; б) - спектры поляризации для вспыхивающей активной области; в) - принятая модель горячей плазменной петли; г) - модельные спектры активной области с горячей петлей.

В.М. Богод, Т.И. Кальтман, Л.В. Яснов (СПбГУ). *AstRep*, 55, 42 (2011).

О СТРУКТУРЕ ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ ХРОМОСФЕРА-КОРОНА. На основе спектрально-поляризационных наблюдений квазиспокойных источников циклотронного излучения (NoRH, ССРТ и РАТАН-600) выполнено исследование переходной области хромосфера-корона над солнечными пятнами для изучения физики горячей плазмы (2-4 МК) в присутствии сильного магнитного поля (2-5 КГс). Благодаря высокому пространственному и частотному разрешению (на РАТАН-600 ~5%) наблюдения выявили целый ряд новых спектральных особенностей источников циклотронного излучения, которые можно считать фундаментальными, поскольку они не зависят от величины солнечного пятна и структуры активной области (униполярная-биполярная). Интерпретация новых результатов в рамках общепринятой модели источника циклотронного излучения встречается с серьезными трудностями. Предложена идея коррекции модели, состоящая в том, что на $\lambda > 3$ см излучение в обоих модах (о, е) генерируется одним 3-им гироуровнем, а не суммой 2-го и 3-его, как считалось ранее. Идея проверяется путем моделирования. Планируется продолжить исследование с целью увеличения статистической значимости наблюдательных данных, а также развития модели и уточнения физических параметров корональной плазмы над солнечными пятнами.

Н.Г. Петерова, А.Н. Коржавин, Л.В. Опейкина, Н.А.Топчило, Т.П.Борисевич. *АЖ*, 87, 75 (2010); *Астрофиз. бюлл.*, 65, 60 (2010).

РАСЧЕТ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ. Проведена реконструкция корональных магнитных полей солнечных активных областей по экстраполяции фотосферных данных, расчетам циклотронного излучения и по наблюдениям. Магнитные поля восстанавливаются на основе данных SOHO (инструмент MDI). Исходя из трехмерного реконструированного магнитного поля и упрощенных модельных распределений электронной концентрации и кинетической температуры, рассчитывается тепловое магнитотормозное излучение активной области. Для расчета радиоизлучения используются полные формулы для коэффициентов циклотронного поглощения на 2-5 гармониках гирочастоты для обыкновенной и необыкновенных мод излучения. На рис. 69 расчетная пространственная и спектральная структура радиоизлучения сопоставляется с данными спектрально-поляризационных наблюдений с высоким пространственным разрешением на РАТАН-600. Анализируются возможные причины изменений пространственного распределения и поляризационных характеристик излучения, связанных с процессом распространения радиоволн при наличии в активных областях различного типа неоднородностей, токовых слоев и сложной топологии магнитного поля..

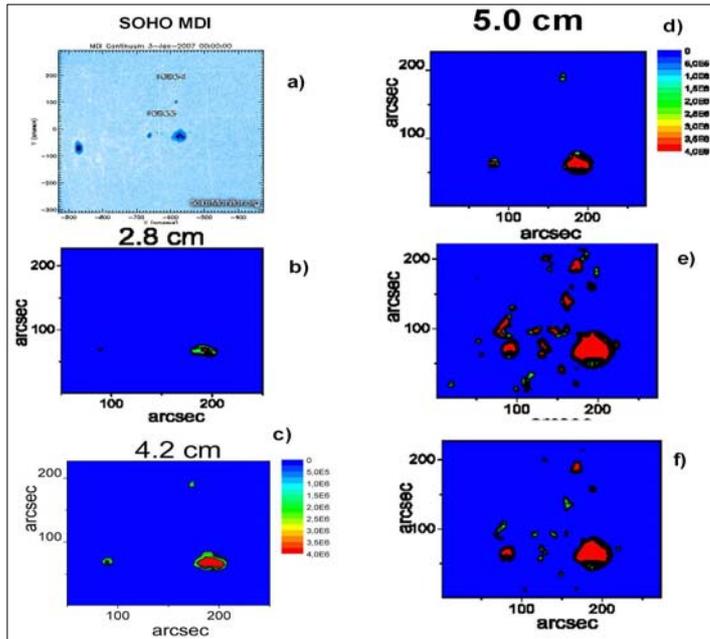


Рис. 69. Карты яркостных температур теплового циклотронного излучения (параметр Стокса I), рассчитанные, исходя из трехмерного реконструированного магнитного поля, упрощенных модельных распределений электронной концентрации и кинетической температуры (двухступенчатая модель с условием постоянства давления). a) карта магнитных полей(SOHO MDI); b),c) карты для длин волн 2.8, 4.2 см. d),e) и f) карты для волны 5 см, при учете корректирующего множителя ξ для восстановленного магнитного поля: сверху вниз $\xi=1, 2$ и 3 . Видно, что ввод множителя ξ увеличивает «наблюдаемые» размеры источников и усиливает излучение.

В.М. Богод, Т.И. Кальтман, А.Г. Ступишин и Л.В. Яснов (СПбГУ).