



ВАЖНЕЙШИЕ

НАУЧНЫЕ

ДОСТИЖЕНИЯ ЛФЗГ

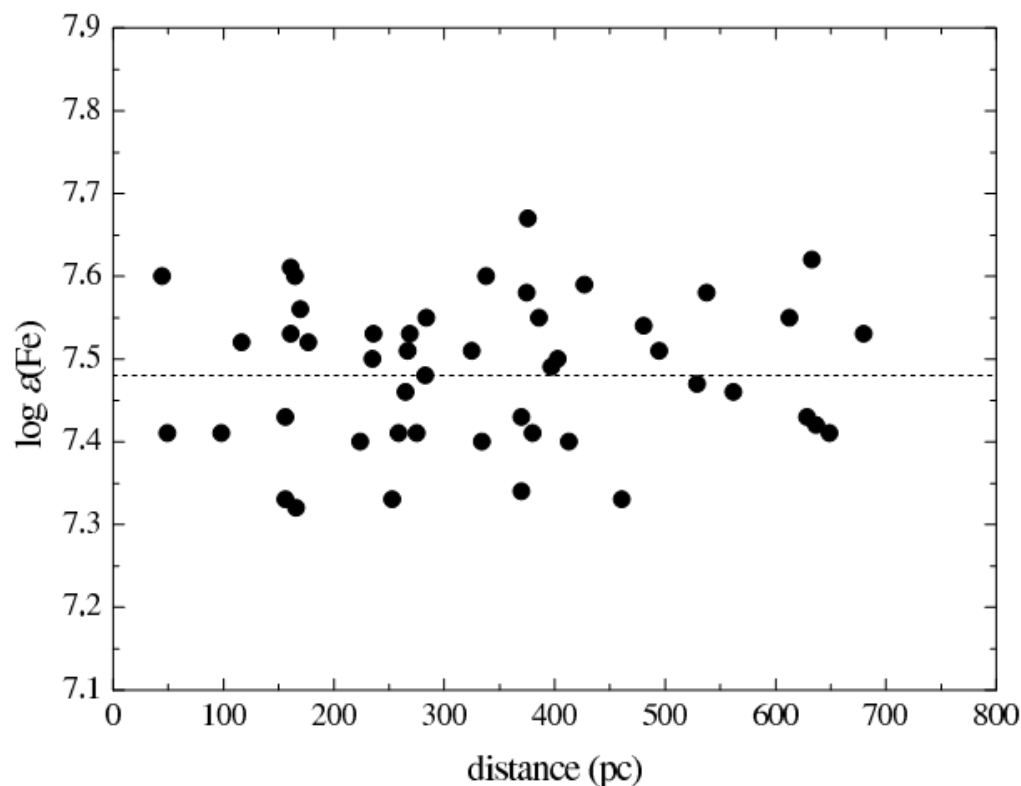
В 2009 ГОДУ



Фундаментальные параметры сверхгигантов классов A, F и G

Используя спектры высокого разрешения, полученные на обсерватории Мак Дональд в США, и основываясь на усовершенствованной методике, авторы проекта определили ряд фундаментальных параметров для 63 сверхгигантов классов A, F и G нашей Галактики. В частности, благодаря применению новой редукции звездных параллаксов, измеренных космическим аппаратом *Hipparcos*, достигнута беспрецедентная точность в определении двух важнейших параметров – эффективной температуры T_{eff} и ускорения силы тяжести $\log g$. Тем самым заложена основа для значительного повышения точности в определении химического состава этих молодых звезд, что имеет большое значение для проверки современных теорий эволюции звезд и Галактики.

На основе полученных высокоточных значений параметров T_{eff} и $\log g$ определено содержание железа $\log \epsilon(\text{Fe})$ в атмосферах исследованных сверхгигантов. Для 48 таких звезд в окрестности Солнца с расстояниями до 700 парсек получена средняя величина $\log \epsilon(\text{Fe}) = 7.48 \pm 0.09$, которая в пределах ошибки совпадает с солнечным содержанием железа 7.45 ± 0.05 . При этом содержание железа $\log \epsilon(\text{Fe})$ не зависит от расстояния (см. рисунок).



Таким образом, впервые для А-, F- и G-сверхгигантов показано, что металличность таких молодых звезд и Солнца одинакова. Этот результат подтверждает фундаментальной важности факт, что содержание металлов в межзвездной среде в окрестности Солнца за время его жизни (около 4.5 миллиардов лет) практически не изменилось (Л.С.Любимков, Т.М.Рачковская и Д.Б.Поклад в сотрудничестве с проф. Д.Л.Ламбертом и С.И.Ростопчиным из Техасского университета США).

Lyubimkov L.S., Lambert D.L., Rostopchin S.I., Rachkovskaya T.M., Poklad D.B.
"Accurate fundamental parameters for A-, F- and G-type Supergiants in the solar neighbourhood".
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 400, p. 1881, 2009.

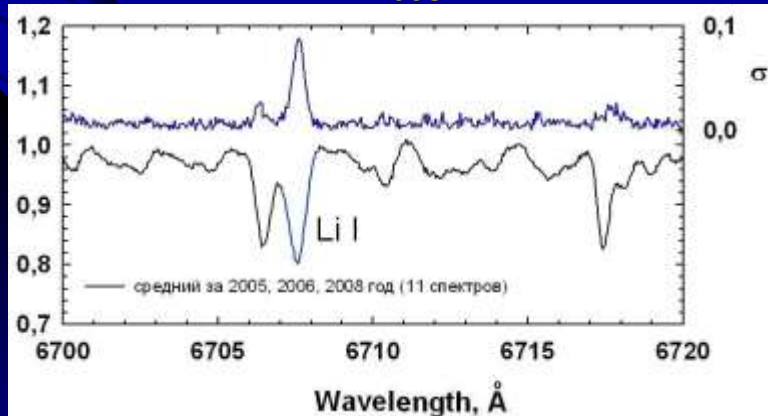
Аномальное содержание лития в спектрах магнитных CP-звезд

(Н. Полосухина (КраО), А. Шаврина (ГАО НАНУ))

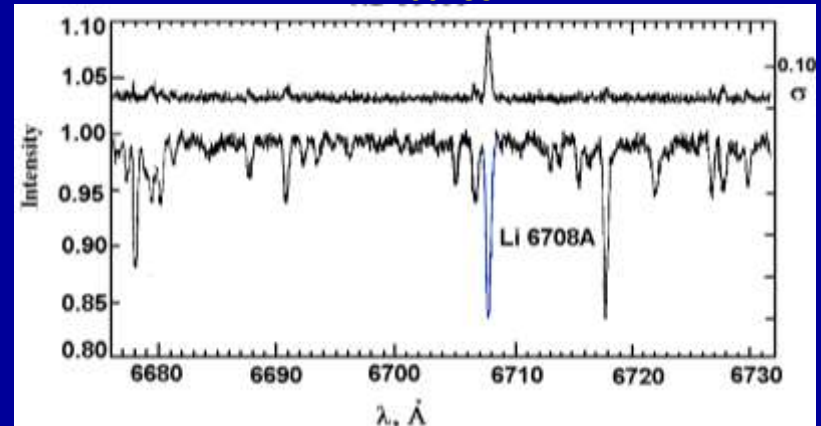
Наблюдения магнитных CP-звезд на БТА подтвердили постоянство интенсивности линии лития $\text{Li I } 6708 \text{ \AA}$ в спектрах медленно вращающихся CP-звезд, найденное по наблюдениям на ЗТШ и в ESO (1996 г.). Анализ спектров и модельные расчеты наблюдаемых медленно вращающихся звезд HD 134214, 33 Lib, HD 166473 показали:

- ❖ **Изотопный состав** Li^6/Li^7 слегка отличается от одной звезды к другой и превышает это отношение в солнечной атмосфере.
- ❖ **Содержание лития**, определенное по субординатной линии $6103 \text{ \AA}$, несколько выше, чем определенное по резонансной линии лития $6708 \text{ \AA}$ для всех указанных в этой группе звезд и превышает космическое содержание лития.
- ❖ По наблюдениям на БТА спектров недавно открытой гоАр звезды HD 12098 в области $\text{Li I } 6708 \text{ \AA}$ были обнаружены сильные изменения линии $\text{Li I } 6708 \text{ \AA}$.

HD 12098



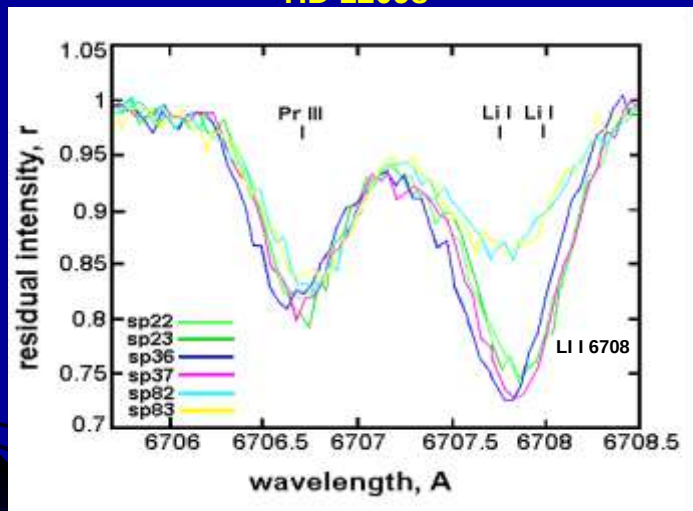
HD 60435



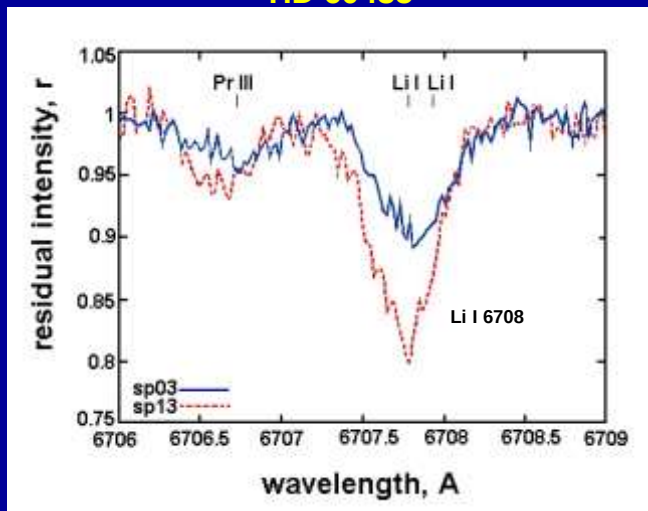
Дисперсограммы для пятнистых CP-звезд HD 60435 и HD 12098.

❖ Метод дисперсограмм, который выделяет области спектра с заметной переменностью, примененный к спектрам HD 12098 и запятанным литиевым CP-звездам (пример HD 60435) отчетливо демонстрирует подобную переменность спектра этих звезд, а также показывает, что амплитуда изменений интенсивности линии лития 6708 Å существенно больше амплитуды изменения интенсивности линий REE элементов: Nd III, Pr III, Ce II и др., - что является дополнительным свидетельством принадлежности бленды 6708 Å линии лития Li I 6708 Å и свидетельством различия вертикальной стратификации лития и REE линий в CP-звездах с магнитными полями.

HD 12098



HD 60435



Изменение профилей линии PR III 6706.7 Å и резонансного дублета лития Li I 6708 с фазой вращения звезды HD 12098 (слева). Наблюдаемые спектры HD 60435 (справа).

❖ Новый анализ спектров HD 12098 показал наличие пятен лития, расположенных вблизи магнитных полюсов.

❖ Повышенное содержание лития в пятнах на поверхности этих CP-звезд, возможно, обусловлено физическими процессами, препятствующими перемешиванию звездного вещества и сохранению первоначального содержания Li^7 , Li^6 при наличии магнитного поля в атмосфере звезды.

❖ Другая возможность - это реальные процессы продуцирования лития в поверхностных слоях атмосфер звезд с сильными магнитными полями, например, в реакциях скалывания, при которых ускоренные в магнитных полях протоны и альфа-частицы разрушают более тяжелые атомы C, N, O с образованием лития.

Выстраивание пылевых частиц и структура магнитного поля в дисках молодых звезд

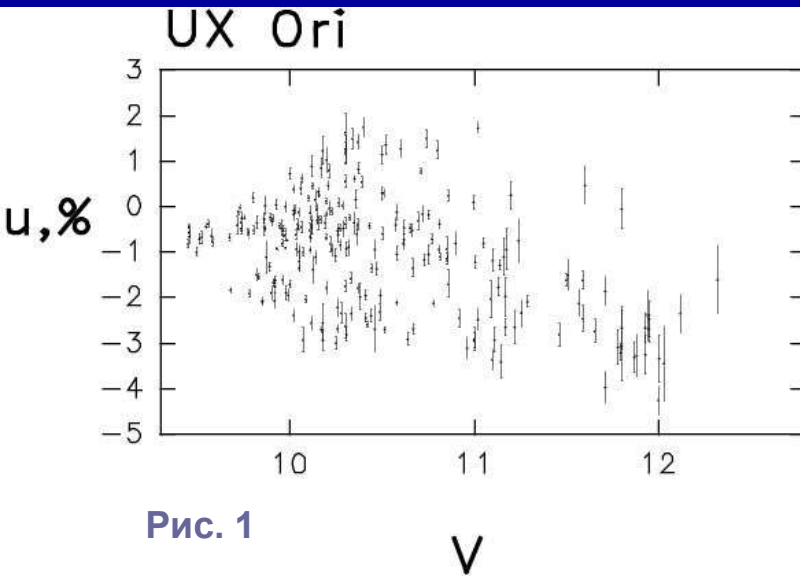
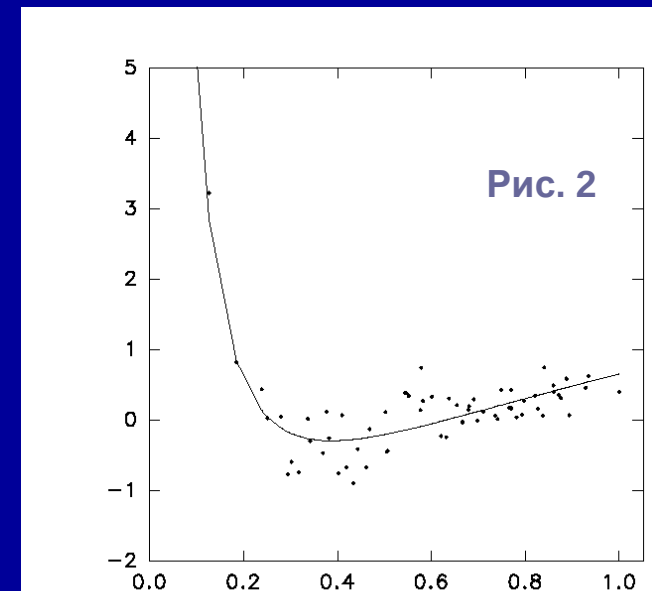


Рис. 1

❖ Проводимый авторами в КрАО многолетний фотопolarизационный мониторинг молодых переменных звёзд типа UX Ori показал, что стандартная для них модель переменной околозвёздной экстинкции, которая предсказывает однозначную зависимость поляризации от блеска, у ряда объектов этого типа не реализуется – см.рис.1. Это обстоятельство приводит к необходимости ввести в рассмотрение дополнительный механизм переменности поляризации:

- ❖ Переменность рассеянного излучения
- ❖ Или /и дихроизм поглощающей пыли, вызванный выстраиванием несферических частиц.

Детальный анализ данных по WW Vul и UX Ori, в ходе которого у WW Vul была обнаружена немонотонная зависимость параметров Стокса от блеска – см.рис.2, рассмотрена зависимость параметров Стокса и их дисперсии от блеска и спектральные зависимости различных компонентов переменности поляризации у WW Vul и у UX Ori. Эти результаты, а также наличие аномальной переменности поляризации с характерным временем в несколько дней, указывают на доминирующую роль дихроического механизма в аномальной переменности поляризации.



Это заключение позволяет сделать ряд выводов о свойствах пыли и структуре магнитного поля в протопланетных дисках WW Vul и UX Ori:

- ❖ Поляризующая способность пыли (зависящая от комбинации степени несферичности и степени выстроенности частиц) в дисках сравнима с наблюдаемой у межзвездной пыли, что указывает на наличие эффективного механизма выстраивания, работающего в условиях радикально отличных от межзвездной среды.

- ❖ Направление выстраивания крайне неоднородно. Переменность степени и направления выстроенности на луче зрения имеет характерный масштаб времени от дней до десятков лет, соответствующий для кеплеровских дисков пространственному масштабу 0,01-10 а.е.

- ❖ Предполагая, что направление выстраивания определяется магнитным полем (что верно для подавляющего большинства реалистичных моделей механизмов выстраивания), структура магнитного поля в дисках должна быть сложна и хаотична, с указанным выше характерным масштабом.

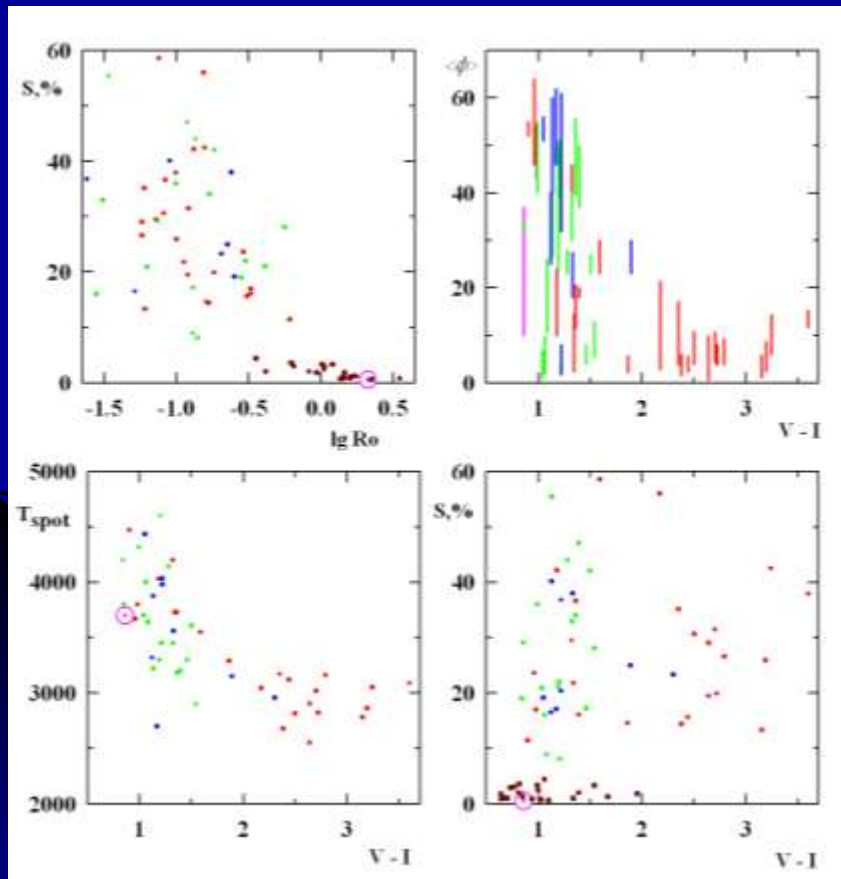
- ❖ У WW Vul можно выделить регулярный или глобальный компонент выстроенности (магнитного поля) соответствующий ориентации коротких осей пылинок в плоскости диска (тороидальной топологии поля).

- ❖ У UX Ori подобный глобальный компонент слабо выражен, и, если существует, соответствует выстраиванию коротких осей вдоль оси диска (полоидальной топологии поля).

(Шаховской Д.Н., Ростопчина А.Н.)

Запятненность звезд поздних спектральных классов

Разработанная в КрАО модель зональной запятненности звезд поздних спектральных классов обобщена для случая нелинейного хода по долготе эффективности полосы запятненности, обусловленного двумя активными долготами. В результате достигнута точность воспроизведения кривой блеска не хуже $0.^m01$ в любой фазе в полосе V.

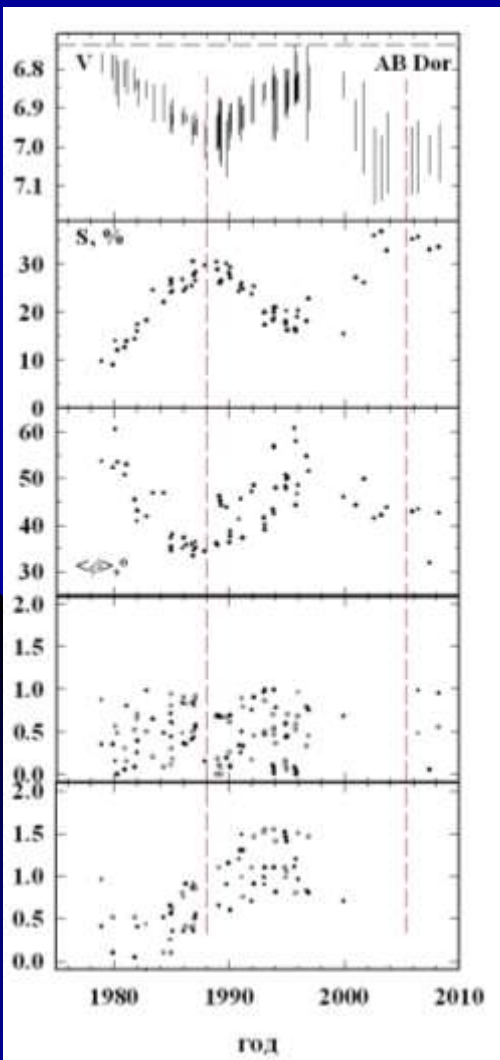


Проведено моделирование запятненности нескольких десятков запятненных звезд: 26 красных карликов (красные символы), 17 RS CVn (зеленые символы), 9 PTTS (синие символы), 15 звезд солнечного типа (темно-красные символы). Лиловым цветом отмечено Солнце.

Пятна расположены на низких ($\langle \phi \rangle = 10 - 15^\circ$ у K – M звезд) и средних широтах ($\langle \phi \rangle = 20 - 60^\circ$ у звезд классов G – K и родственников Солнца). Их площадь у звезд спектрального класса K может превышать половину поверхности звезды. Существует единая для карликов, двойных RS CVn гигантов и молодых звезд зависимость температуры пятен от спектрального класса звезды – у горячих G – K звезд пятна холоднее фотосферы на 1500 – 2000 K, в то время как у самых холодных M карликов разность температур составляет около 300 – 500 K.

Рис. 1. Зависимости наибольшей площади пятен S_s , их средней широты $\langle \phi \rangle$, и температуры от числа Россби $\lg Ro$ и площади пятен от показателя цвета $V-I$.

У ряда звезд отмечается циклическая активность звезды, выражающаяся в переменности среднего блеска звезды, полной площади пятен и их средней широты (рис.2). Обнаружен аналог дрейфа пятен при росте их полной площади и дифференциальное вращение звезды. Их характер зависит от показателя цвета $B - V$.



Для двойной системы UX Ari построена трехкомпонентная модель запятненности. Показано, что фотометрическое поведение звезды хорошо описывается моделью, состоящей из спокойной фотосферы, холодных пятен, которые холоднее фотосферы на 1300°K , и горячих областей, которые горячее фотосферы на 750°K . Площадь запятненных областей доходит до половины поверхности звезды и, вероятно, показывает цикличность с характерным временем около 9 лет (рис.3). Факелы занимают около 30% площади пятен.

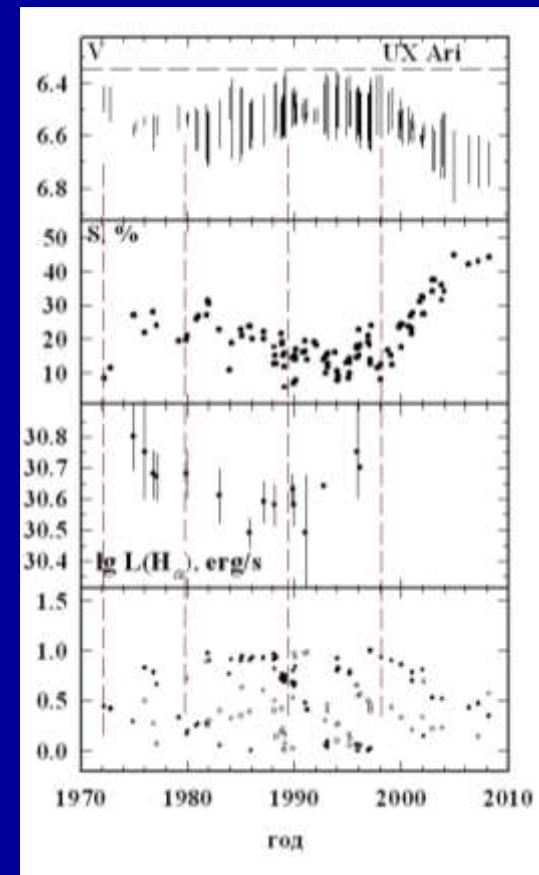


Рис. 3. Циклическая активность системы UX Ari

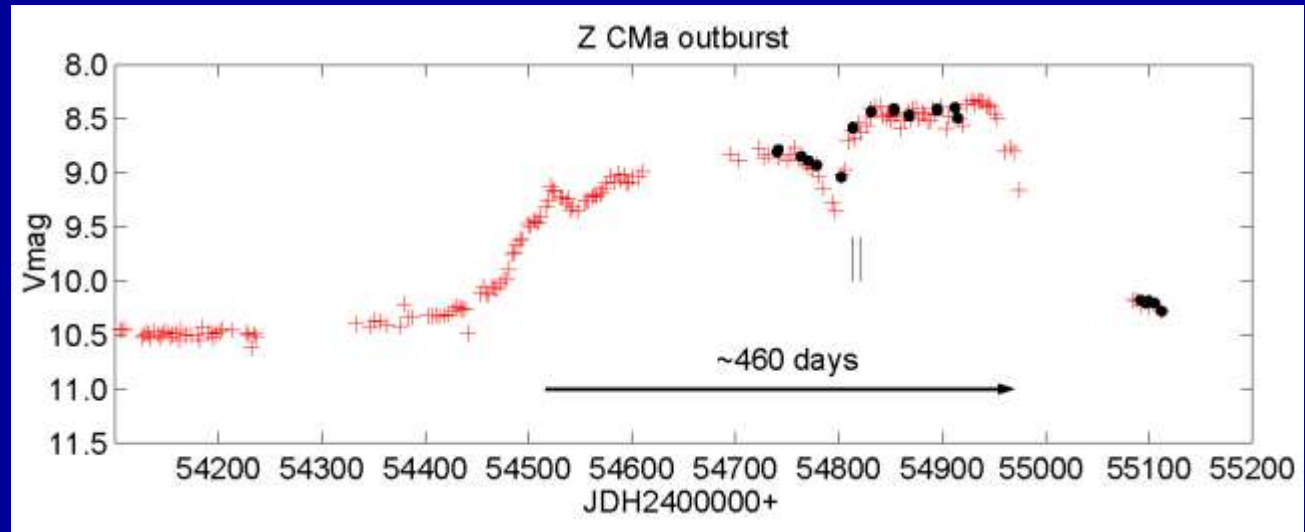
Рис. 2. Циклическая активность AB Aur по результатам моделирования оригинальных и литературных данных.

(И.Ю. Алексеев)

Экстремальная вспышка фуора Z CMA

Z CMA относится к редкому типу молодых переменных звезд, демонстрирующих очень редкие и достаточно продолжительные вспышки. Физический смысл вспышек фуоров ещё не выяснен. Не ясно также, происходит ли такая вспышка один раз в течение всей эволюции звезды или это повторяющееся явление. По-видимому, вспышки фуоров связаны со структурной перестройкой звёзд на одном из ранних этапов развития.

Кривая блеска Z CMA в полосе V за последние 1100 суток по данным ASAS (красные кресты) и КрАО (черные кружки). Продолжительность новой вспышки обозначена горизонтальной стрелкой. Интервал спектральных наблюдений отмечен двумя вертикальными линиями.



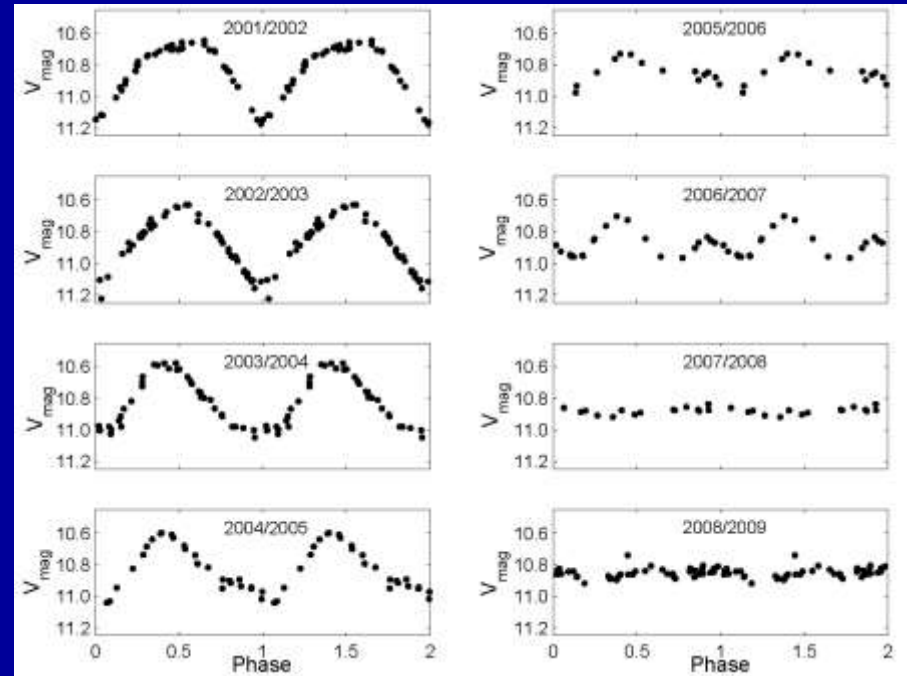
В начале 2009г было обнаружено, что Z CMA демонстрирует новую экстремальную вспышку с амплитудой $1.7-1.9^m$, которая больше чем любые фотометрические изменения блеска, зарегистрированные у этой звезды в течение последних 25 лет. Продолжительность вспышки более 460 суток. Для детального исследования физики этой вспышки была организована международная кампания для получения ИК-фотометрии, спектров с высоким разрешением и интерферометрических наблюдений на VLT.

(К.Н. Гранкин и С.А. Артеменко, 2009, IBVS, No 5905)

Радикальные изменения в фотометрическом поведении V410 TAU

V410 Tau относится к группе молодых быстро вращающихся и сильно запятненных звезд. Неравномерное распределение по поверхности звезды протяженных холодных пятен приводит к модуляции интегрального блеска в процессе осевого вращения звезды.

Фазовые кривые блеска V410 Tau в полосе V для восьми наблюдательных сезонов. В течение последних двух сезонов отмечена рекордно низкая амплитуда переменности блеска $\sim 0.06^m$, в то время как в другие сезоны амплитуда переменности достигала $0.4-0.6^m$. Аналогичное значительное уменьшение амплитуды переменности блеска у этой звезды было зарегистрировано более 23 лет назад. Вполне возможно, что эта 23-х летняя эволюция фазовой кривой блеска является отражением существования долговременного цикла активности, подобного 11-ти летнему циклу солнечной активности.



Обнаружено резкое уменьшение амплитуды переменности блеска от 0.6 до 0.06^m при практически постоянном среднем уровне блеска. Такое фотометрическое поведение свидетельствует о радикальных изменениях в распределении протяженных холодных пятен по звездной поверхности, которые, в свою очередь, обусловлены значительными изменениями в топологии магнитного поля звезды.

(К.Н. Гранкин и С.А. Артеменко, 2009, IBVS, No 5907)

Магнитное поле классической магнитной Ар звезды β CrV

- ❖ Измерения эффективного магнитного поля β CrV были выполнены на ЗТШ (НИИ КрАО) с 1993 по 2006 год и на эшелюном спектрографе BOES 2007 – 2008 гг. (Южная Корея).

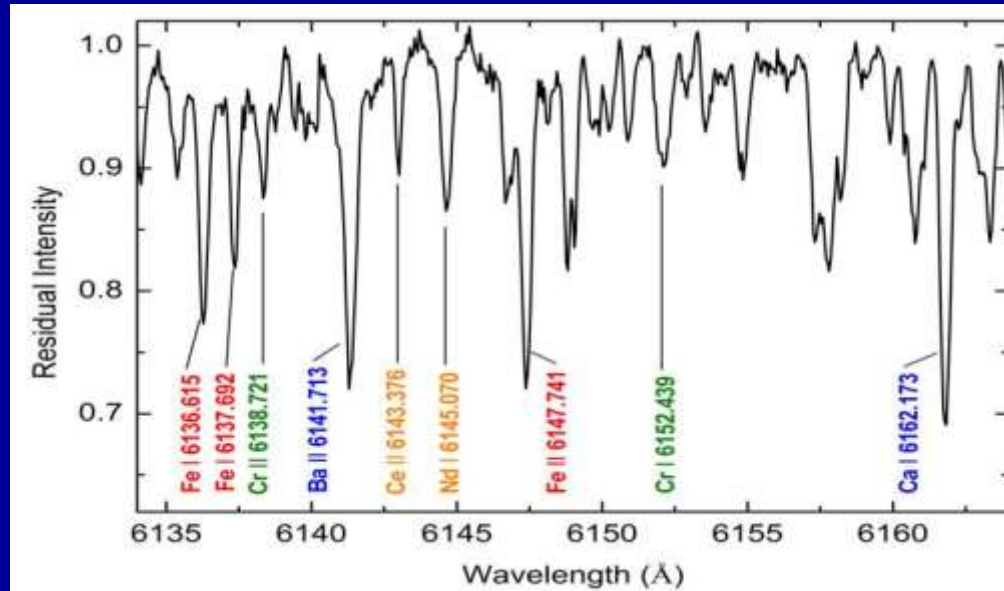


ЗТШ (КрАО)

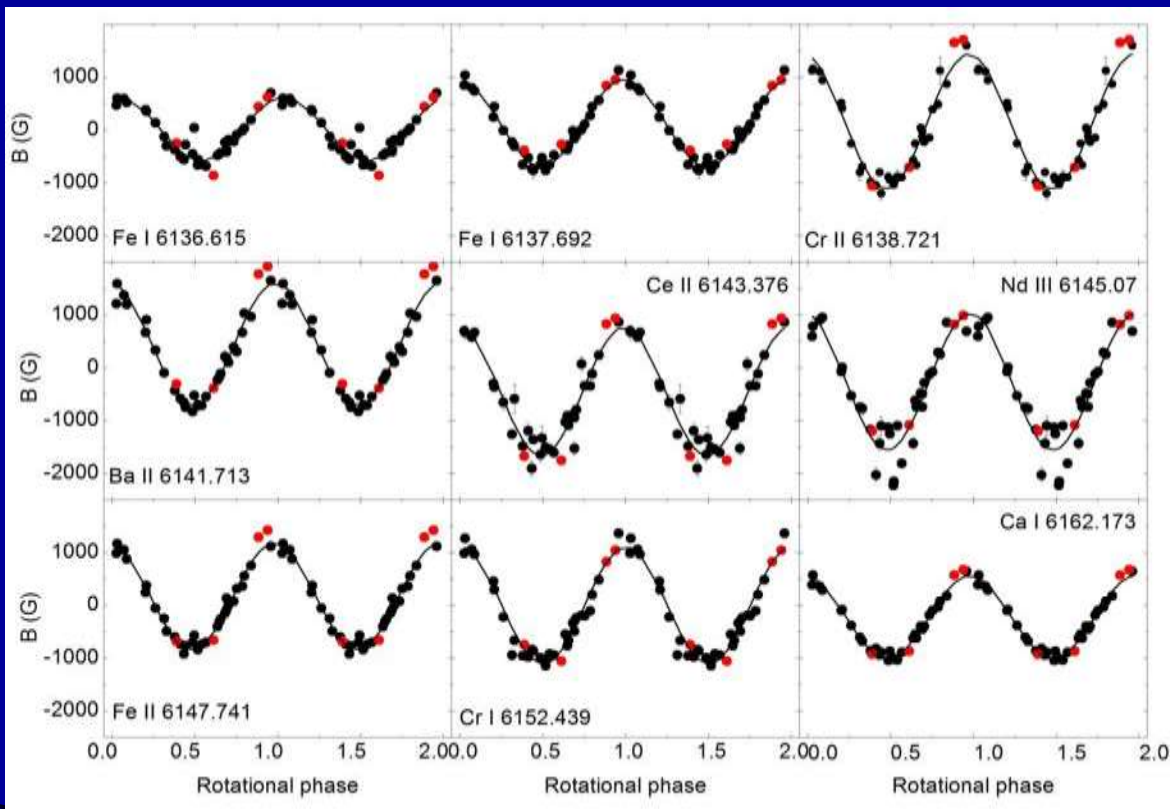


BOES (Южная Корея)

- ❖ По данным измерениям рассчитаны величины эффективного магнитного поля β CrV на различных фазах периода вращения звезды для отдельных спектральных линий.

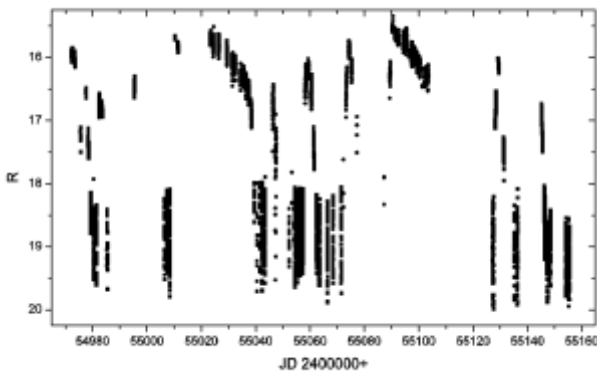


Исследованная спектральная область β CrV

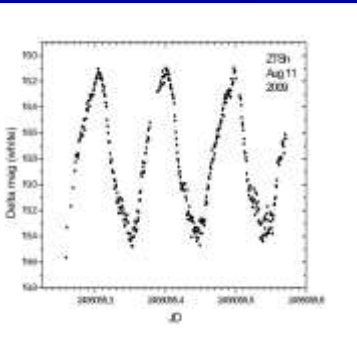


Эффективное магнитное поле β CrV, измеренное в различных спектральных линиях и свернутое с фазами периода вращения звезды $P_{\text{rot}} = 18.478$ дня

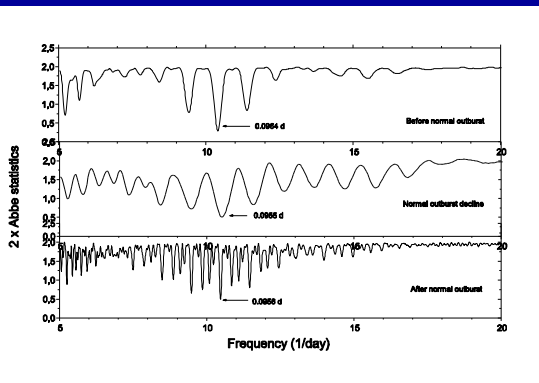
- ❖ Установлено, что амплитуды и средние значения дипольных кривых эффективного магнитного поля β CrV значительно отличаются для различных спектральных линий.
- ❖ Впервые показано, что разные значения эффективного магнитного поля определяются не только при его измерении по линиям различных химических элементов, но и по разным линиям одного и того же химического элемента.
- ❖ Сделан вывод, что для изучения топологии магнитного поля на поверхности звезды необходимо выполнять измерения и анализ магнитного поля по каждой спектральной линии в отдельности и только после этого отбирать подходящие линии для дальнейшего моделирования.



Вспышечная кривая блеска MN Dra в 2009 г.



Образец кривой блеска отрицательных сверхгорбов



Верхняя панель: периодограмма по данным минимума перед вспышкой (JD 2455060), средняя: - во время вспышки, нижняя – после вспышки

Открытие нодальной прецессии у катаклизмической переменной MN Dra

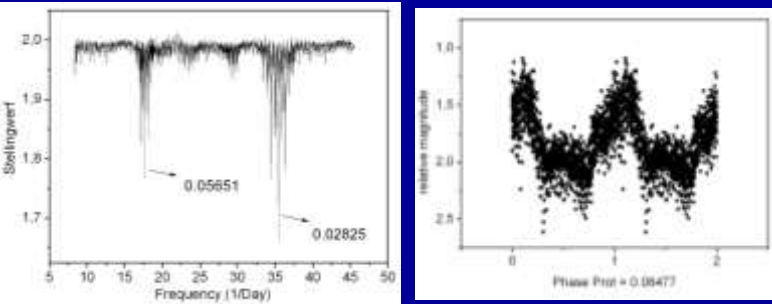
По результатам международной кампании (КрАО – ГАИШ – Терскол – Татранская Ломница), инициированной крымскими учеными и проведенной в течение 120 суток, у катаклизмической переменной MN Dra впервые обнаружен период так называемых “отрицательных сверхгорбов”, равный 0.096 сут., вызванный нодальной процессией аккреционного диска, наклоненного к плоскости орбиты. Эта периодичность наблюдается только в минимуме блеска и в нормальных вспышках, но отсутствует во время сверхвспышек. Обнаружены циклические колебания периода в окрестности нормальных вспышек; до вспышки он составляет 0.096 сут., во время вспышки – внезапно уменьшается до 0.095 сут., после чего в течение ~ двух суток постепенно возвращается к исходной величине – 0.096 сут. Это четвертая карликовая новая, у которой обнаружена нодальная прецессия диска.

(Е.П. Павленко, О.И. Антонюк, А.В. Бакланов, Д.А. Самсонов).

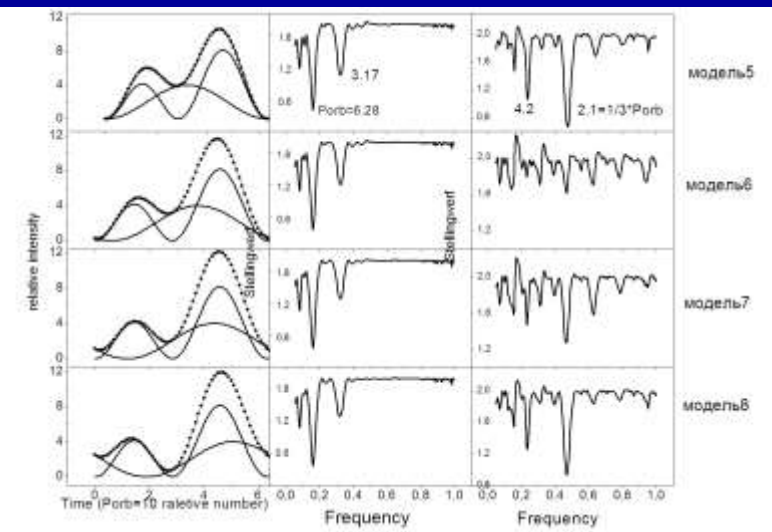
Обнаружение эффекта отражения у поляра SDSS J032855

По результатам фотометрических ПЗС наблюдений поляра **SDSS J032855**, полученных на Терсколе и ЗТШ на протяжении 7 ночей (1566 измерений блеска), уточнен орбитальный период 0.084771 суток установлено, что аккреция в системе происходит на два магнитных полюса, но в разном соотношении. Анализ периодограмм выявил, что переменность блеска не может быть вызвана только излучением от двух аккреционных колонн. Сделано предположение, что ещё одним источником излучения может быть «эффект отражения» от обращенной к белому карлику стороны соседнего компонента. Чтобы проверить это предположение, была построена сетка моделей для суммарного эффекта излучения, вызванного двумя источниками — аккреционными колоннами и «эффектом отражения» для различной ориентации магнитного поля белого карлика по отношению к линии, соединяющей центры компонентов. Найдена такая ориентация, при которой периодограмма соответствующих модельных данных совпадает с периодограммой реальных наблюдений. Этот результат указывает на то, что белый карлик в этой системе более горячий, чем белые карлики в других полярах для такого же расстояния между компонентами.

(Ю.В. Бабина, Е.П. Павленко).



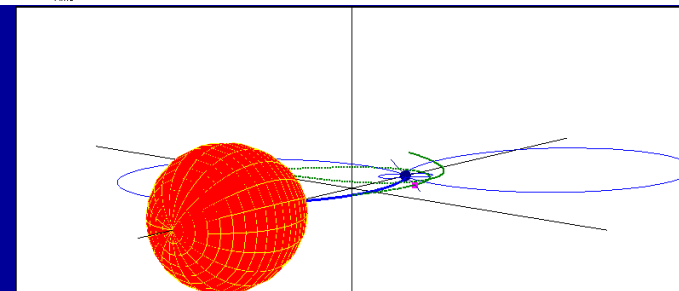
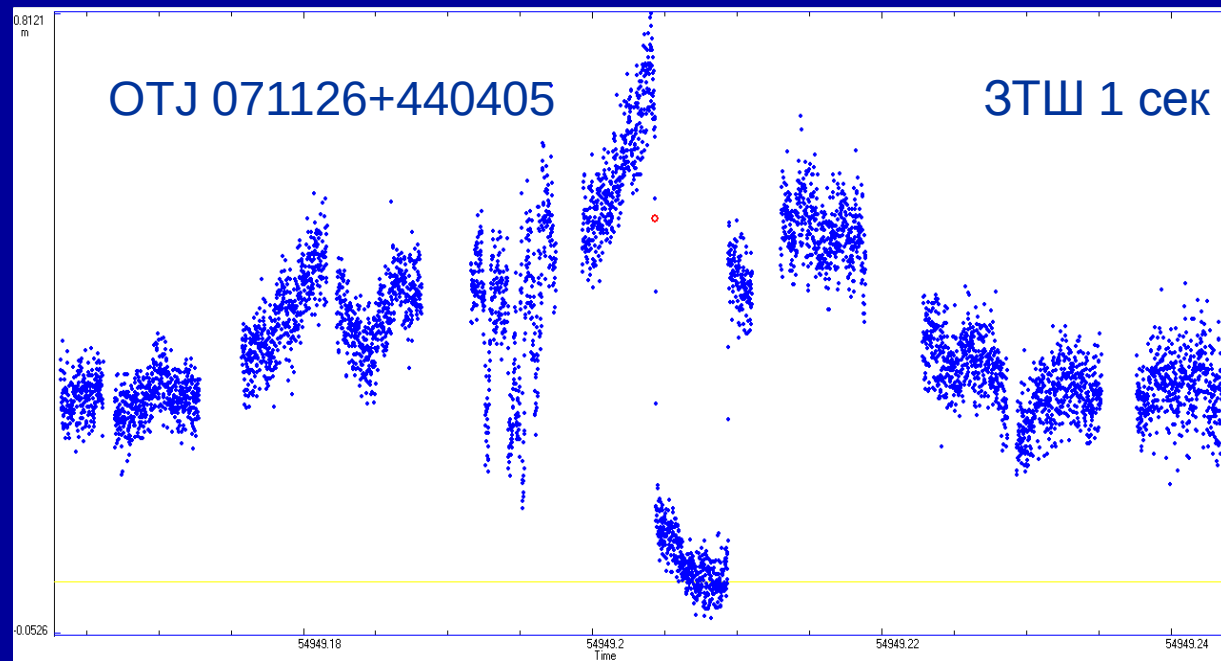
Периодограмма (слева) и свертка данных (справа) с периодом 0.084 сут.



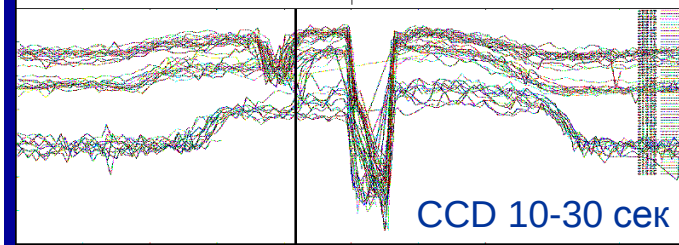
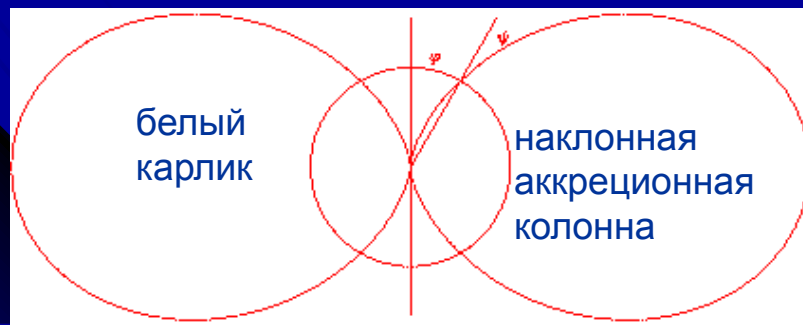
Левая панель: смоделированные кривые, вызванные эффектом отражения, излучения аккреционных колонн и суммарного излучения. средняя и правая панель: периодограммы для суммарного излучения и для данных после вычета орбитального периода

Диаметр аккреционной колонны полюра JNJ071126+440405

По результатам быстрой фотометрии с временным разрешением 1 сек впервые определено характерное время затмения в недавно открытом поляре OTJ 071126+440405, составляющее 3 секунды. Это позволило оценить размер основного источника излучения ~1300 км, что значительно меньше белого карлика. Орбитальный период и длительность затмения определены с точностью, существенно превосходящей результаты ПЗС наблюдений на других телескопах. Работа выполнялась в рамках международной кампании "Inter-Longitude Astronomy"



самосогласованная модель



(С.В.Колесников,
Н.М.Шаховской,
И.Л.Андронов,
В.В.Бреус,
С.В.Клементьева)

Определение масс центральных черных дыр, размеров и кинематики области свечения широких линий в активных ядрах галактик (АЯГ)

В рамках международной программы были получены беспрецедентные по своему временному разрешению кривые блеска оптического континуума и линии H β для ряда АЯГ, что позволило надежно определить массы центральных черных дыр и размеры области свечения широких линий (BLR) в этих ядрах. В частности, сделана значительно более надежная оценка массы черной дыры в NGC 4051: около 1.6 миллионов масс Солнца. Полученные результаты имеют важное значение для определения и интерпретации зависимостей масса-светимость и радиус-светимость АЯГ.

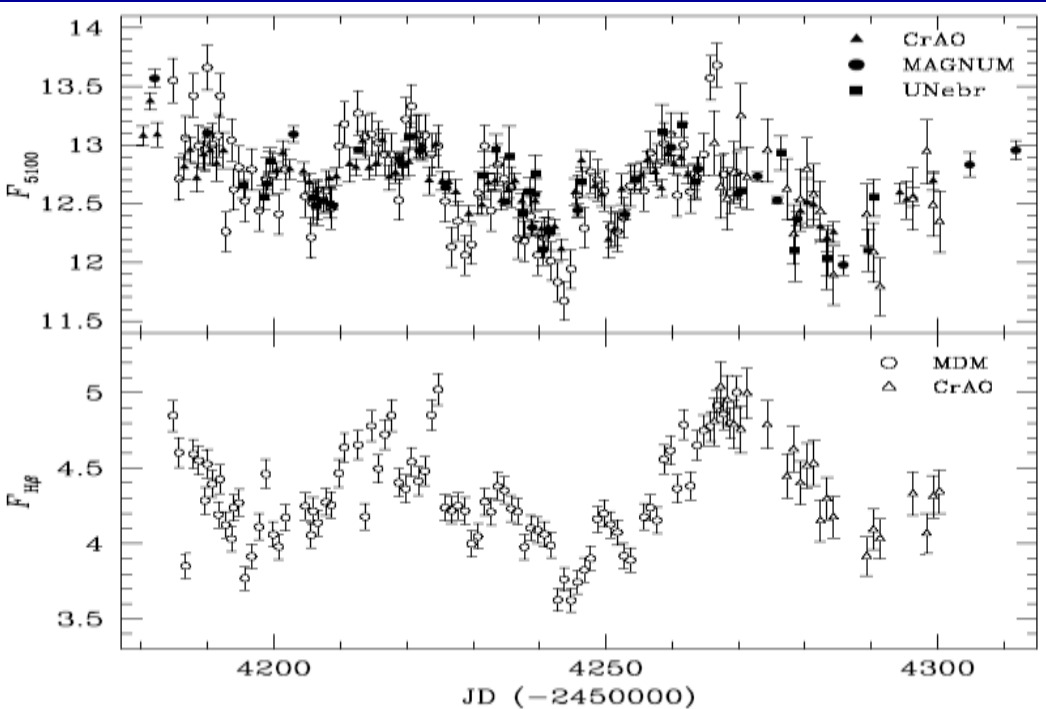


Табл.1: Результаты измерения размеров области BLR (световые дни) и массы центральной черной дыры в ядре NGC 4051.

Parameter (1)	Value (2)
τ_{cent}	$1.75^{+0.50}_{-0.68}$ days
τ_{peak}	$0.80^{+1.59}_{-0.60}$ days
M_{BH}^a	$(1.58^{+0.50}_{-0.65}) \times 10^6 M_{\odot}$

Рис. 1: Кривые блеска континуума и линии H β ядра NGC 4051 по данным международного мониторинга. Данные полученные в КрАО показаны треугольниками.

Впервые сделал большой шаг вперед на пути определения кинематики BLR по методу эхо-картирования. Показано, что в трёх ядрах кинематика области BLR существенно различается, что демонстрирует сложность и многообразие кинематики этой области: ядро NGC 3227 показывает признаки истечения газа наружу, ядро NGC 3516 – признаки падения вещества, а ядро NGC 5548 – признаки кругового или хаотического движения. Полученные результаты накладывают существенные наблюдательные ограничения на процедуру определения масс центральных чёрных дыр методом эхо-картирования.

Результаты опубликованы в:

- ❖ Denney K.D., Peterson B.M., Pogge R.W., et al. (43 co-authors, including Doroshenko V.T., Efimov Y.S., Klimanov S.A., Nazarov S.V., Sergeev S.G.) "Diverse Kinematic Signatures from Reverberation Mapping of the Broad-Line Region in AGNs" // Astrophysical Journal Letters - 2009. - V.704 - P.L80-L84.
- ❖ Denney K.D., Watson L.C., Peterson B.M., et al. (33 co-authors, including Doroshenko V.T., Efimov Y.S., Klimanov S.A., Nazarov S.V., Sergeev S.G.) "A Revised Broad-line Region Radius and Black Hole Mass for the Narrow-line Seyfert 1 NGC 4051" // Astrophysical Journal - 2009. - V.702 - P.1353-1366.

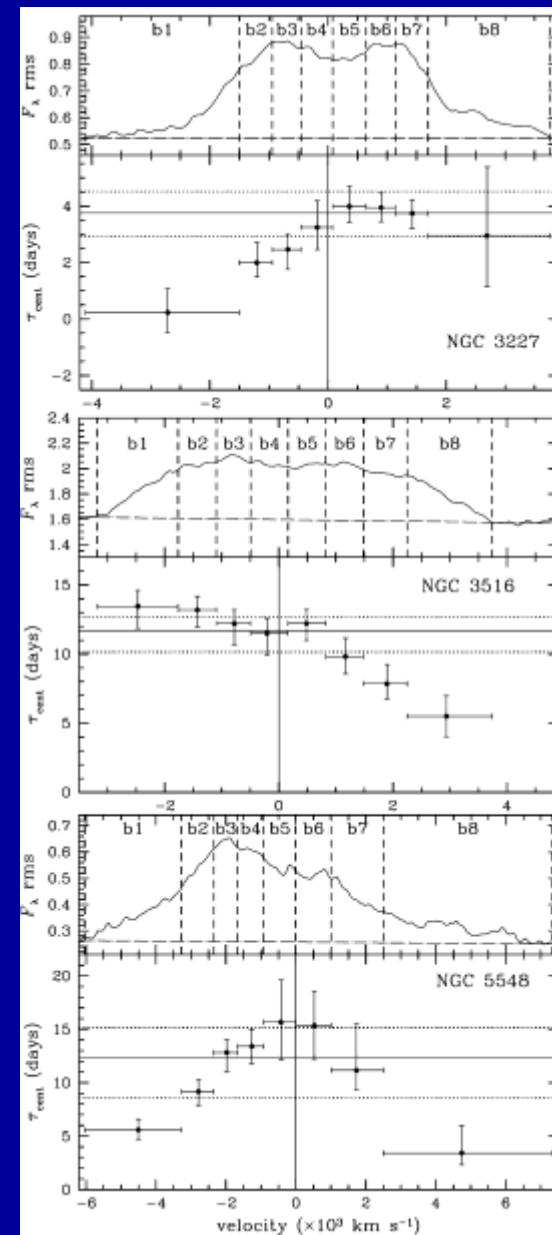


Рис.2: Запаздывание линии H β в зависимости от лучевой скорости (нижняя часть каждого рисунка) демонстрирует существенное различие кинематики BLR в трех АЯГ. ¹⁸

Фотополяриметрия блазара OJ287 в 2005–2009 годы

Фотометрические наблюдения блазара OJ287 на телескопе АЗТ-8 в 2002–2009 гг. показали, что поток излучения менялся от 2 до 18 mJy. На этом интервале времени произошли три крупных вспышки в 2002/2003, 2004/2006, 2007/2008 гг. Наилучшее совпадение наблюдавшихся моментов максимумов блеска объекта OJ287 с ожидавшимися по нескольким моделям двойной черной дыры было только со вспышкой 2007/2008 гг. (отмечено вертикальной красной линией на *рис. 1*).

Спектральный индекс менялся от ~ -1.0 в области максимумов блеска до ~ -1.5 во время пониженной яркости блазара (*рис. 2*).

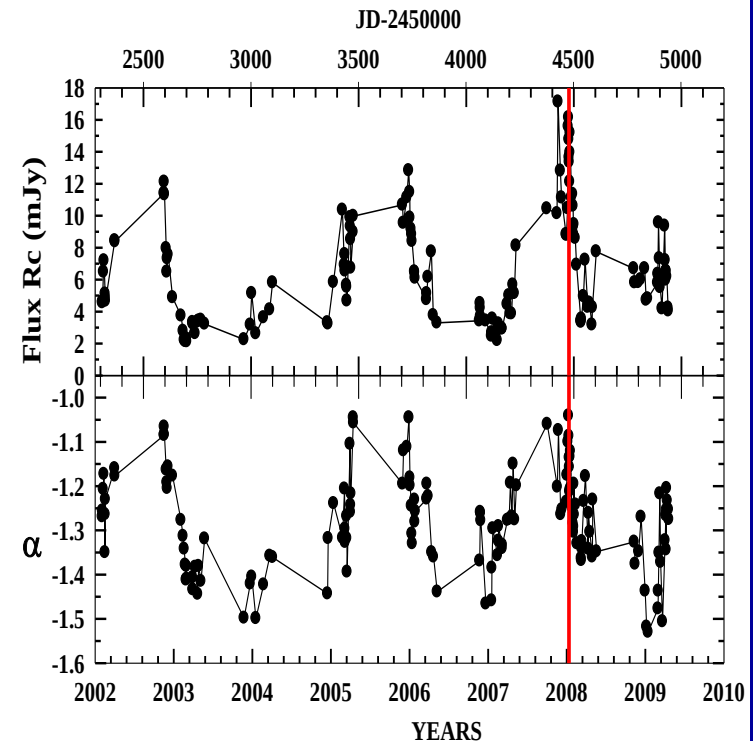


Рис. 1

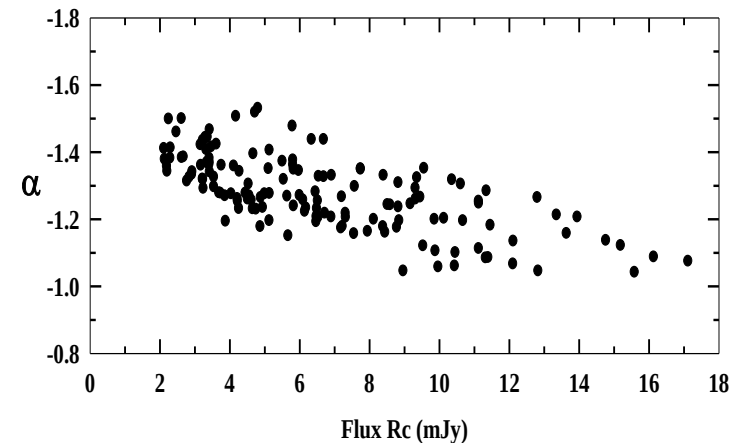


Рис. 2

На основе поляризметрических наблюдений блазара OJ287, сделан вывод о существовании по крайней мере двух источников поляризации непрерывного излучения блазара: оптической поляризации ядра и хаотической поляризации излучения джета. Оптическая поляризация ядра стабильна во времени и может быть объяснена излучением от спокойного компонента джета.

Хаотическая компонента показывает циркулярное движение на диаграмме параметров Стокса. В период наблюдений OJ287 с 2005 до 2009 год найдено 6 таких случаев. Три наиболее впечатляющих случая показаны на рисунке 3. Звездочкой указано положение оптической поляризации ядра. Красным треугольником отмечено начало траектории, а зеленым – ее конец. Во всех случаях направление вращения - по ходу часовой стрелки. Все они объясняются моделью ударного фронта,двигающегося вдоль джета со спиральным магнитным полем. Не найдено корреляции параметров поляризации с блеском. Предложена модель, по которой двойные вспышки и поведение оптической поляризации могут рассматриваться как указание на «магнитное дыхание» аккреционного диска.

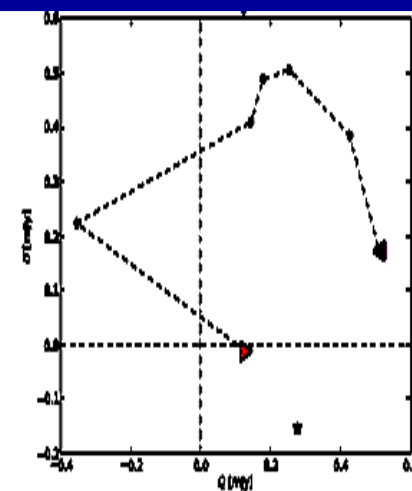
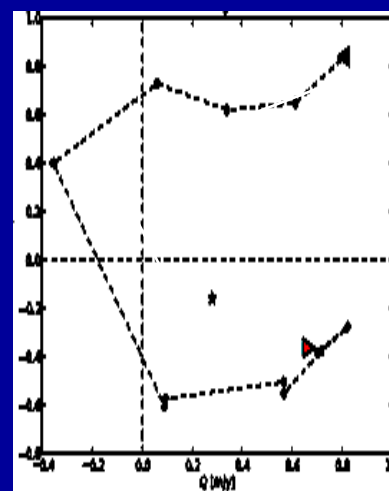
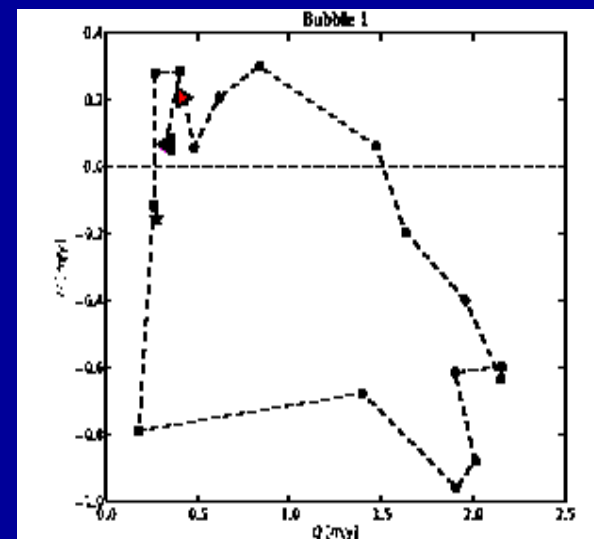
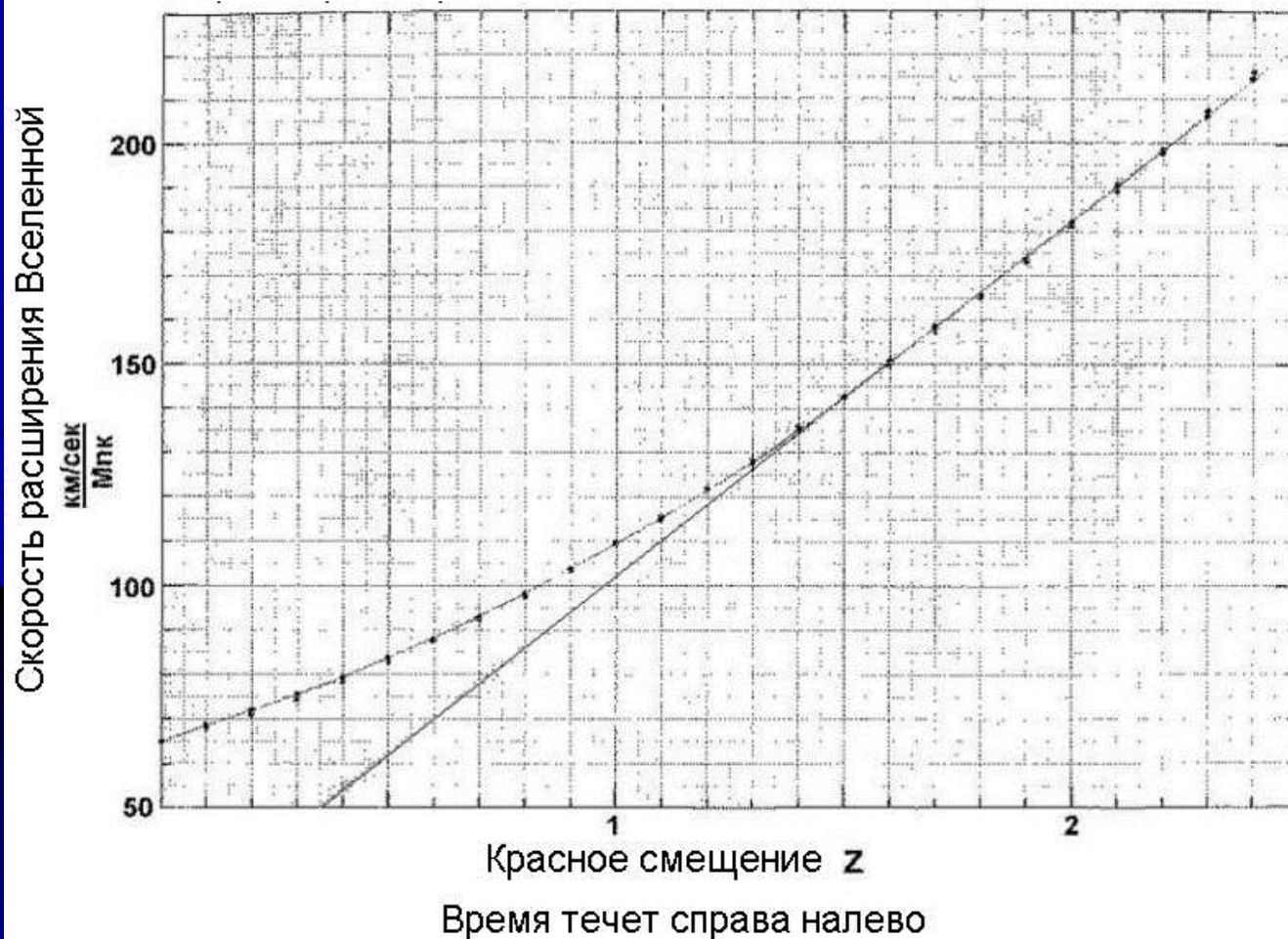


Рис. 3

(Ефимов Ю.С., совместно с иностранными коллегами)

Расширение Вселенной в послерекомбинационную эпоху ($z < 1000$)

Используя опубликованные наблюдаемые диаграммы Хаббла расстояние-красное смещение, вычислены скорости расширения Вселенной при разных z в диапазоне от 0 до 2.4.



Основные результаты:

Показано, что полученная в ESO связь расстояния и красного смещения (диаграмма Хаббла) наиболее точная.

Наблюдаемая зависимость скорости расширения от z в интервале z от 0 до 2.4, при $H_0 = 65$ км/сек·Мпк соответствует следующим значениям темной энергии вакуума и энергии вещества, в том числе и темного: $\Omega_v = 0.737$ и $\Omega_m = 0.263$.

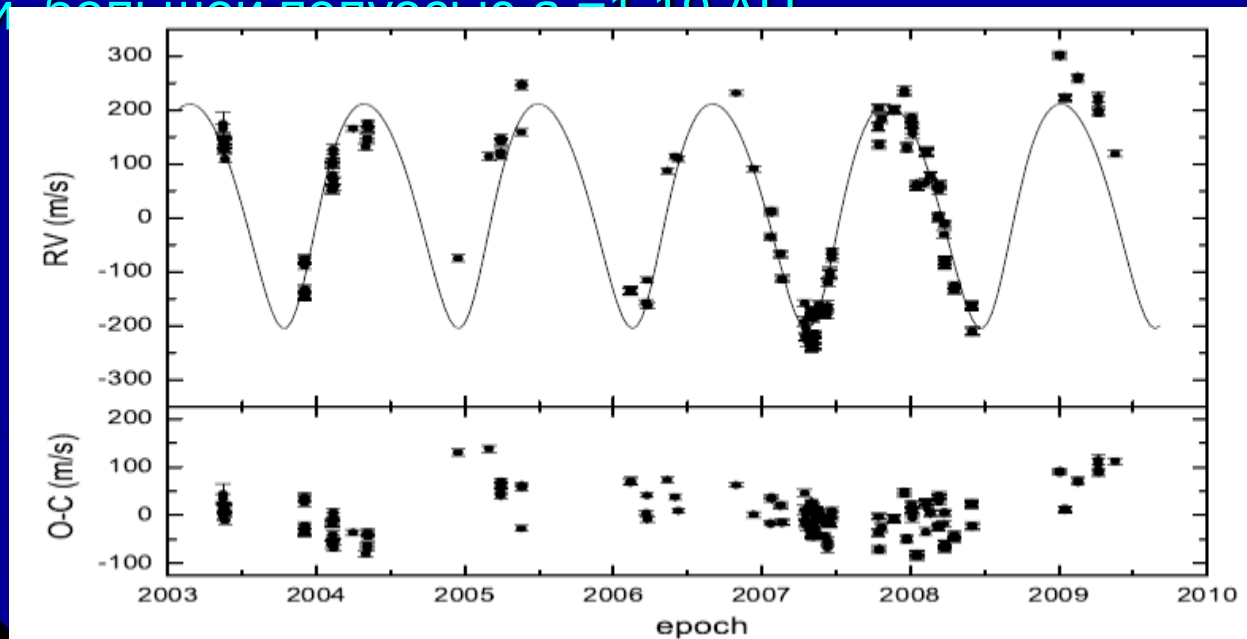
Сделан вывод, что:

- ❖ модельная скорость расширения Вселенной, выраженная через $H_0 = 65$ км/сек · Мпк, $\Omega_m = 0.263$ и $\Omega_v = 0.737$, справедлива для всех z .
- ❖ Вселенная – плоская: $\Omega_m + \Omega_v = 1$.
- ❖ Вселенная открыта: скорость расширения выходит на постоянное значение: $H = \text{Const} \approx 40$ км/сек·Мпк (расширение с такой скоростью будет длиться вечно).

(Проник В.И.)

Открытие экзопланеты у К гиганта γ^1 Leo

Южнокорейско-украинской группой астрономов получены первые результаты многолетнего (2003-2009) совместного (KASI-CrAO) проекта по поиску экзопланет у ранних К гигантов методом прецизионных измерений лучевых скоростей. Открыта экзопланета у К гиганта γ^1 Leo с планетной массой не менее $m \sin i = 8.78$ масс Юпитера с периодом обращения $P = 429$ дней по эллиптической орбите с эксцентриситетом $e = 0.14$ и большой полуосью $a = 1.10$ AU.



Кривая орбитальных изменений лучевых скоростей γ^1 Leo с периодом 429 дней (вверху) и отклонения от нее (внизу) показывающие наличие дополнительной долговременной переменности (возможно другой планеты).

(Южнокорейская группа и Мкртчян Д.)