

Спектральные и фотометрические исследования рентгеновских источников в оптическом диапазоне

В.П. Горанский¹, И.М. Волков¹, А.В. Жарова¹, Т.Р. Ирсмамбетова¹, А.К. Магницкий¹,
В.Г. Метлов¹, Н.В. Метлова¹, С.Ю. Шугаров^{1,2}, Е.А. Барсукова³, А.Н. Буренков³,
Н.В. Борисов³, А.Ф. Валеев^{3,4}, Е.П. Павленко⁵

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга при Московском
государственном университете им. М.В. Ломоносова

²Астрономический институт Словацкой Академии наук

³Специальная астрофизическая обсерватория Российской Академии Наук

⁴Казанский федеральный университет

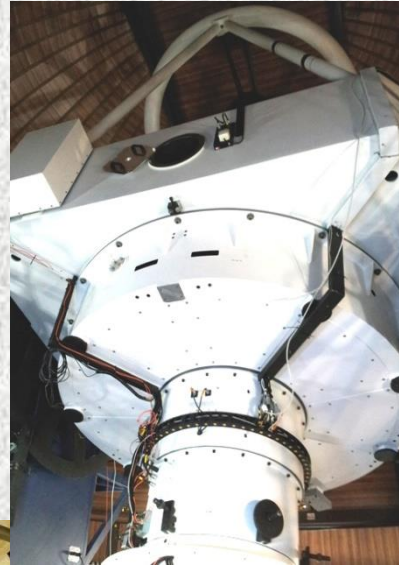
⁵Крымская астрофизическая обсерватория

Средние и малые телескопы прошлого, настоящего и будущего

Использовались или будут использоваться в настоящей работе



70-см рефлектор ГАИШ МГУ в Москве



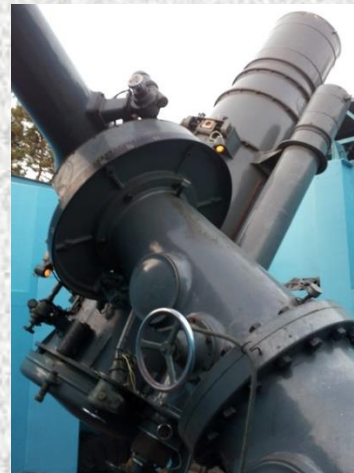
250-см телескоп КГО,
ГАИШ МГУ,
Карачаево-Черкесия



1-м Цейсс САО РАН, Карачаево-
Черкесия (аналогичные в
Семеизе и на Тянь-Шане)



125-см рефлектор
ЗТЭ, Крымская
станция ГАИШ МГУ



50-см менисковый системы
Максутова, АЗТ-5, Крымская
станция ГАИШ МГУ



38-см рефлектор,
Крым, КрАО



25-см рефлектор,
Нижний Архыз, КЧР

60-см Цейсс, Крымская станция
ГАИШ МГУ (аналогичный в
Звенигороде, ИНАСАН)

Проблемы эксплуатации средних и малых телескопов

1. Как правило это инструменты общего пользования, время на которых распределяется между наблюдателями по конкурсу. Удобно для приготовления диссертаций и карьерного роста.

Не удобно для организации алертных наблюдений неожиданных событий астрофизических объектов, которые важны для понимания их природы. Невозможно проведение синоптических наблюдений – длительного и непрерывного слежения в шкале десятилетий.

2. Как правило это многоцелевые инструменты, которые используются с разными навесными приборами. Этот факт отражает постоянное совершенствование наблюдательных технологий в астрономии.

Возникают проблемы приведения наблюдений, полученных с разными приборами в разное время, в одну систему, особенно звезд со сложными и необычными спектрами. Высокоточная ПЗС-фотометрия требует специальной подготовки телескопа и приборов, что, как правило, не осуществляется на практике. Это устранение бликов на чипе ПЗС при косом отражении света на стенках бленды и деталях приборов.

3. Световое загрязнение неба. Это этическая проблема астрономии. Для тех, кто занимается изготовлением диссертаций и карьерным ростом, темное звездное небо не является ценностью, которую нужно беречь, не говоря уже о тех, кто проживает в обсерватории и ее окрестностях и не имеет к науке никакого отношения.

SS 433 (V1343 Aql)

Уникальная система с движущимися линиями в спектре, которые излучаются двумя противоположными прецессирующими струями. Звезда класса A4-A8 I + нейтронная звезда. $P_{\text{orb}} = 13^{\text{d}}.08223$ (Min I = JD hel 2450024.746), $P_{\text{prec}} = 162^{\text{d}}.28$ ($T_3 = \text{JD } 2449998$ – момент максимального расхождения релятивистских компонентов линий в спектре)

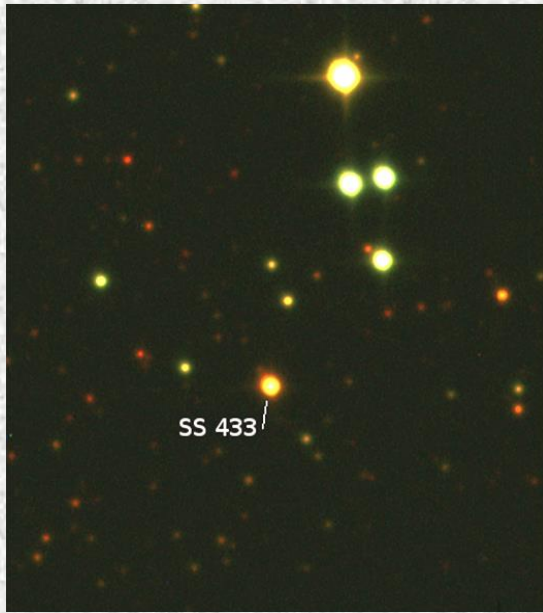
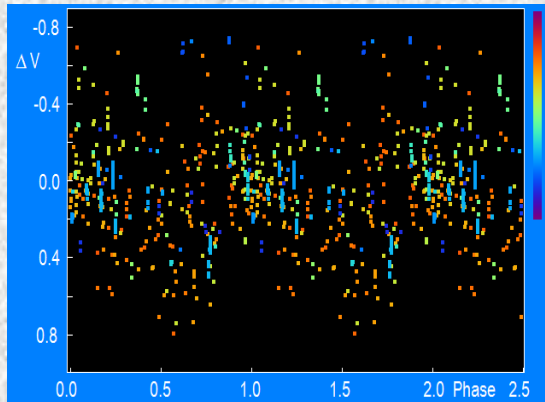
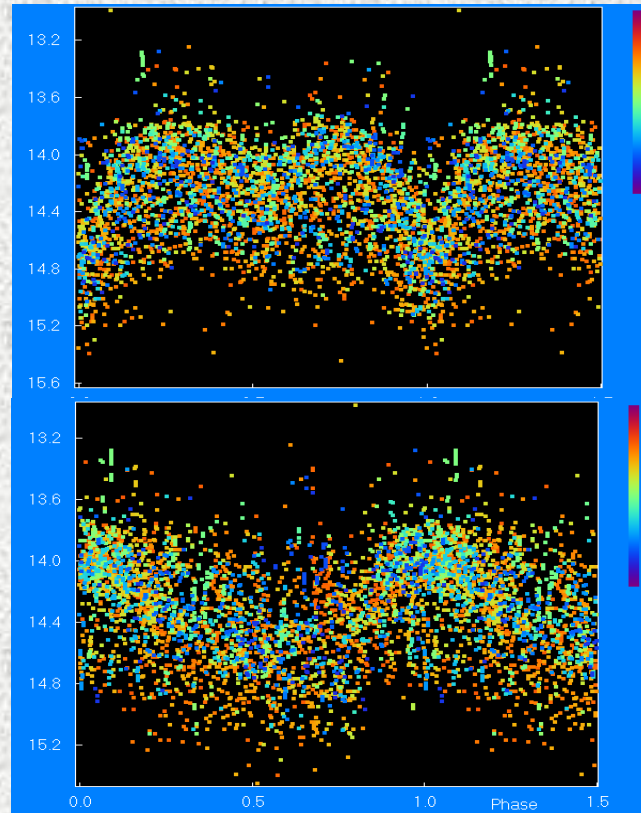


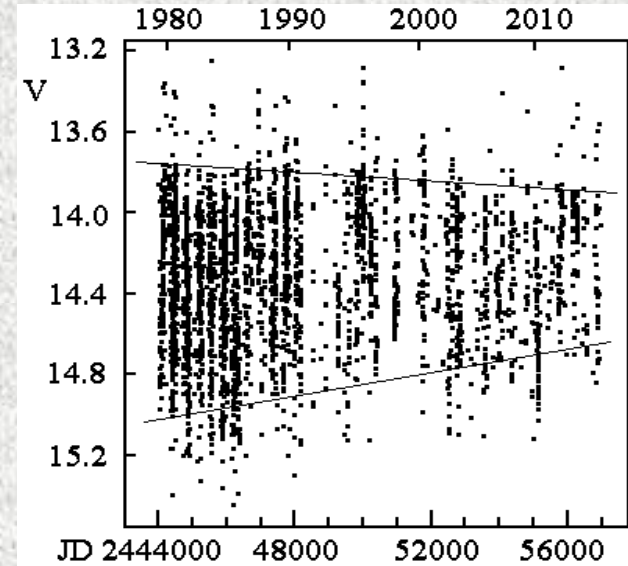
Фото Цейсс-1000 САО РАН



Изменения блеска в полосе V в фазах +/-0.04 главного затмения.



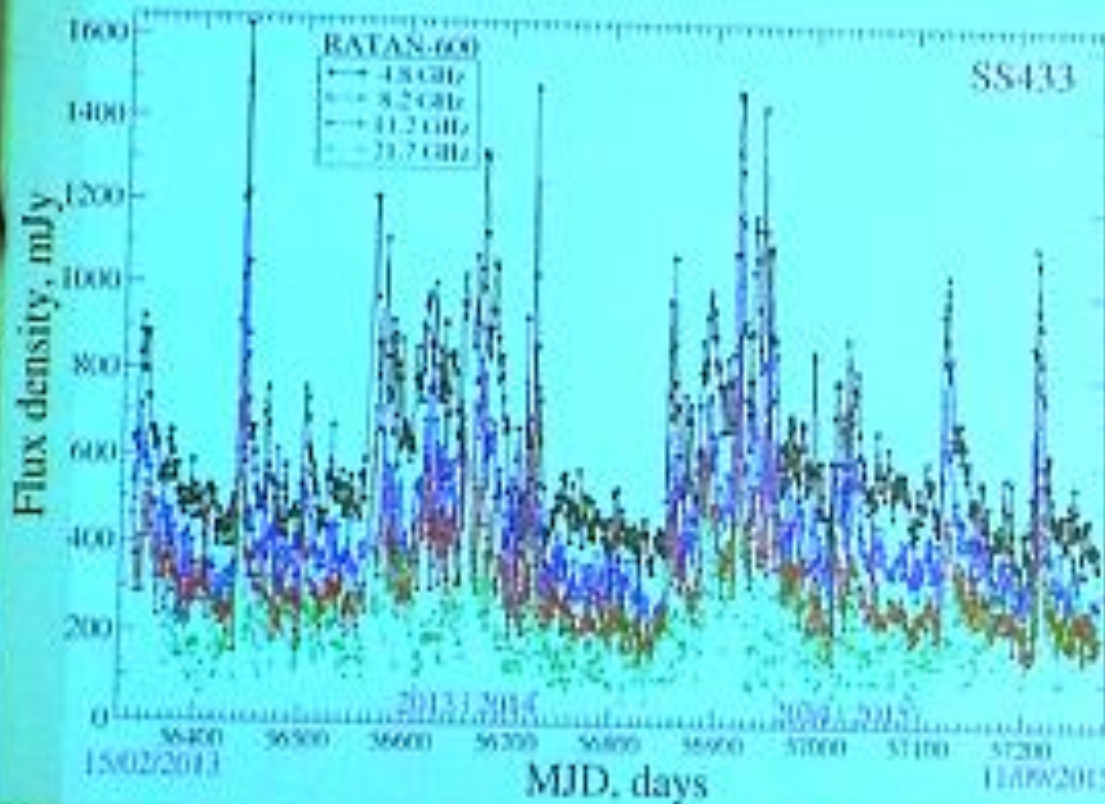
3439 наблюдений в полосе V, полученные за 36 лет во всем мире, построены от фазы орбитального периода (вверху) и от периода прецессии (внизу). Цвет точек зависит от времени и меняется от красного к синему.



Вековые фотометрические изменения за 36 лет. По всем мировым данным. На графике представлены средние за ночь наблюдения на географических широтах, на которых были проведены наблюдения.

Это изменения глубины затмений, амплитуды прецессионных колебаний блеска. Некоторые затмения не состоялись в расчетное время. Наблюдались длительные отклонения в яркую сторону в некоторых фазах прецессионного цикла.

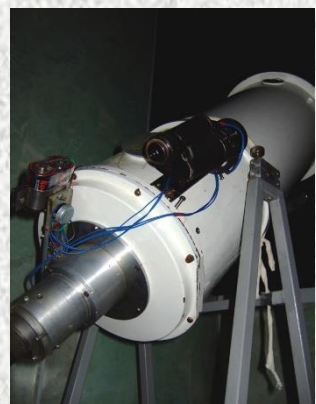
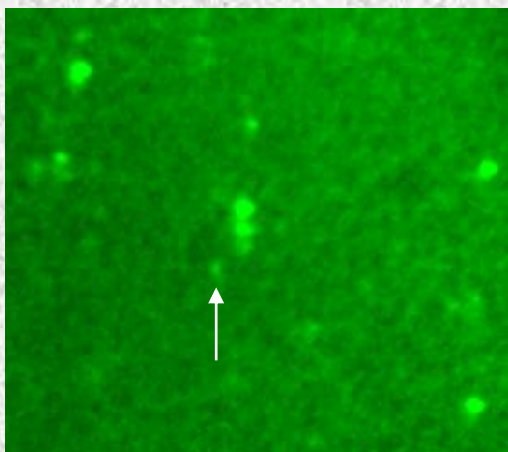
Мониторинг микроквazarов SS433



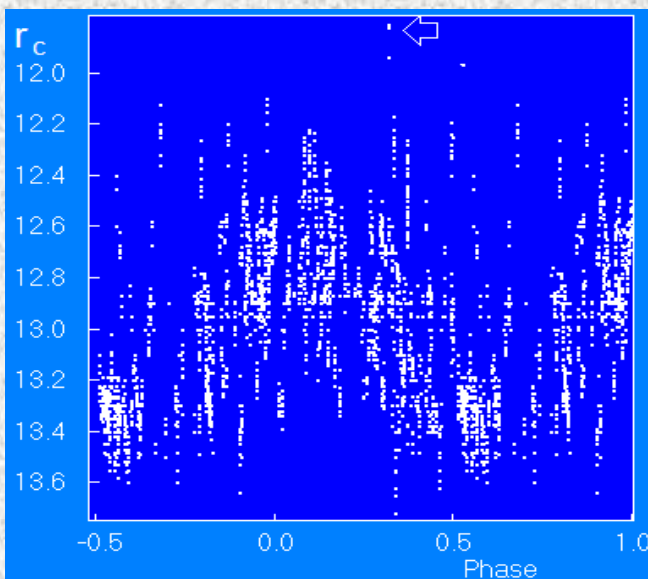
Кривые блеска SS433 в 2013-2015 гг (~1000 дней!) на РАТАН-600 и изображение ОСН W50 на 140 МГц (LOFAR). Зарегистрированы многие яркие вспышки SS433 и впервые обнаружена корреляция радиослучения на метровых и сантиметровых волнах. Кривые блеска вспышек затухают по степенному закону, который соответствует адиабатическому расширению струйного выброса. (Broderick+2015;

Синоптические наблюдения SS 433 с 25-см телескопом и электронным усилителем яркости с микроканальной пластинкой

Фото SS 433 с 25-см телескопом и усилителем яркости без часового ведения



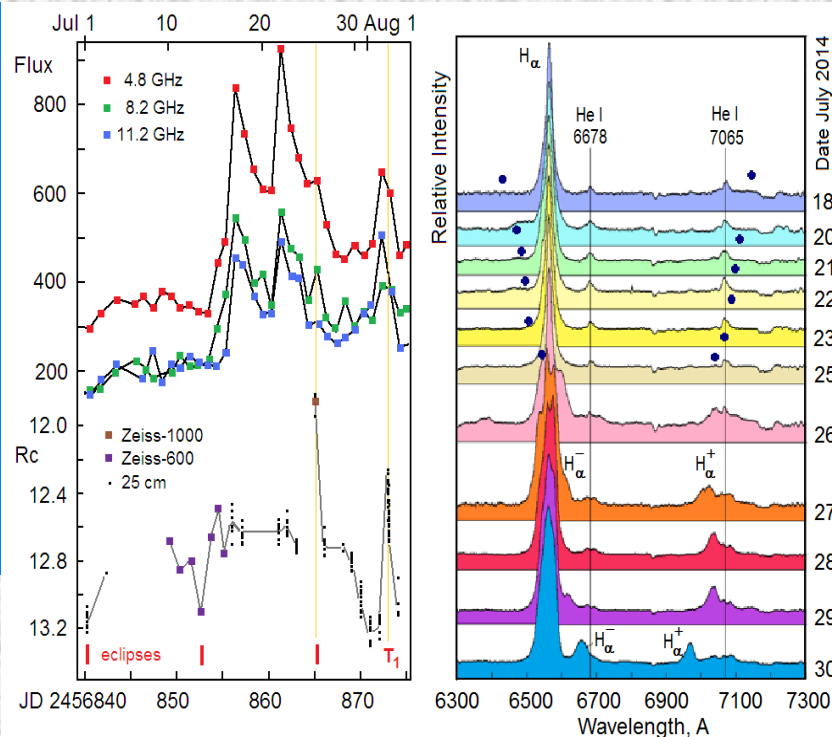
25-см телескоп



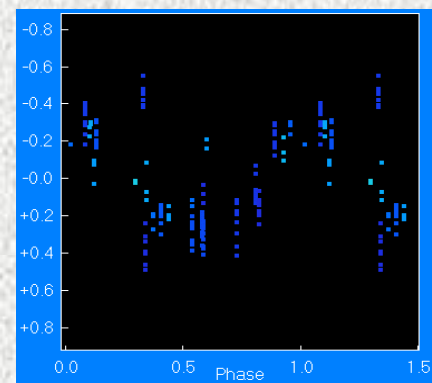
Прецессионная кривая блеска в красном диапазоне: 1723 оценки блеска 2003-2015 г. Сдвиг по фазе на 0.1 относительно релятивистских струй.

Прецессионные изменения в глубине затмения видны глазом!

Июль – август 2014 г.



Результаты сопоставления радио-наблюдений на РАТАН-600 (Трушкин и др., 2014, АТел #6492), оптических наблюдений (Горанский и Жарова, АТел #6347) и спектроскопии (Есипов, ЗТЭ / АСП-2, Крым, частное сообщение)



V1341 Cyg (Cyg X-2)

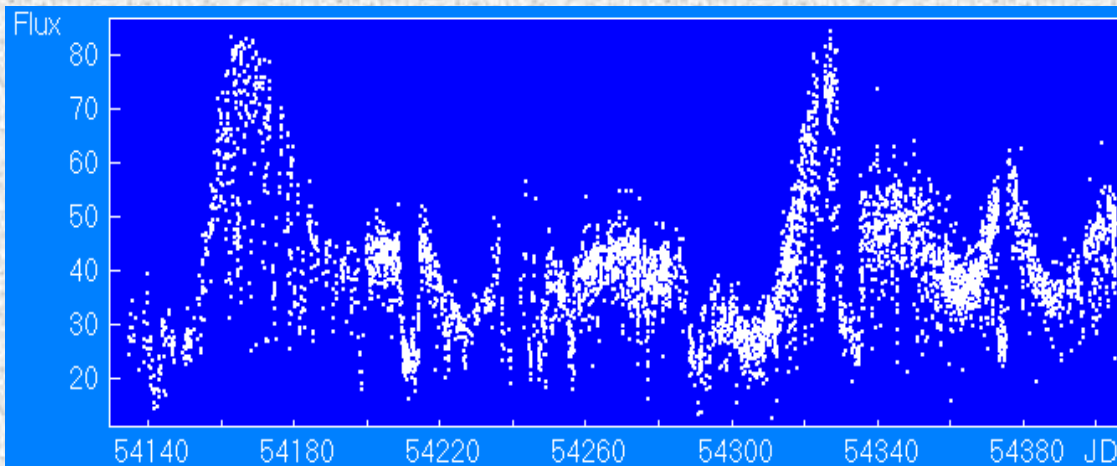
Система A5-F2 III и нейтронной звезды.

$P_{\text{orb}} = 9^{\text{d}}.84450$; $T_0 = \text{JD } 2451387.148$ – нижнее соединение нормальной звезды.

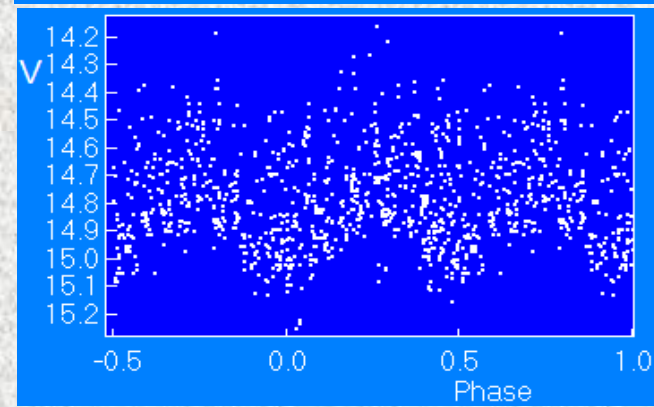
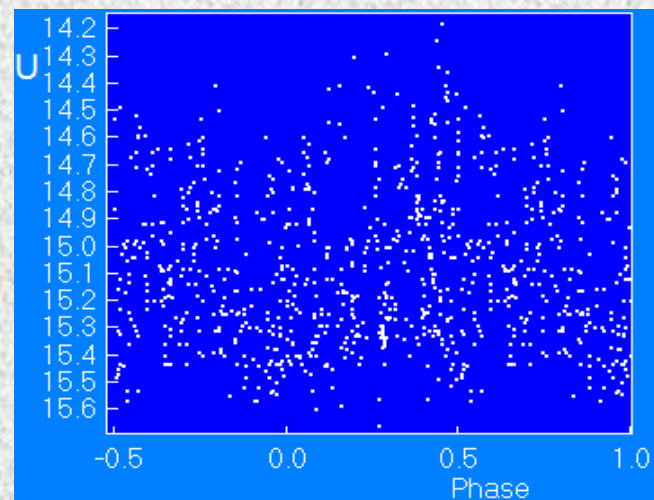


Фото Aladin / DSS

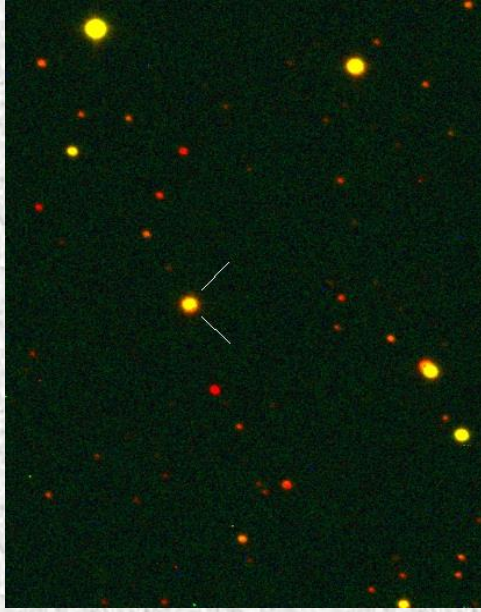
Эллипсоидальная переменность нормальной звезды в системе видна только на нижнем уровне активности и в длинноволновых фильтрах. В рентгеновских лучах орбитальная переменность отсутствует полностью. ПЗС и фотоэлектрические наблюдения на телескопах САО РАН и ГАИШ МГУ.



Типичный фрагмент рентгеновской кривой потока 2-10 keV RXTE / ASM. Орбитальный период никак не проявляется.



Кривые блеска V1341 Cyg в фильтрах U (вверху) и V (внизу) от фазы орбитального периода.



VQ Cam = V0332 +53

Звезда O8-9Ve + нейтронная звезда, пульсар

$P_{\text{puls}} = 4.375$ s. На орбите с $P = 34.2$ сут.

Гигантская вспышка VQ Cam 2015 г. в рентгеновских лучах (Swift). Зеленая линия – интервал времени, сопровождавшийся фотометрией на АЗТ-5 в Крыму и на Цейсс-1000 в САО. Наблюдался спад блеска на $0^m.1$.

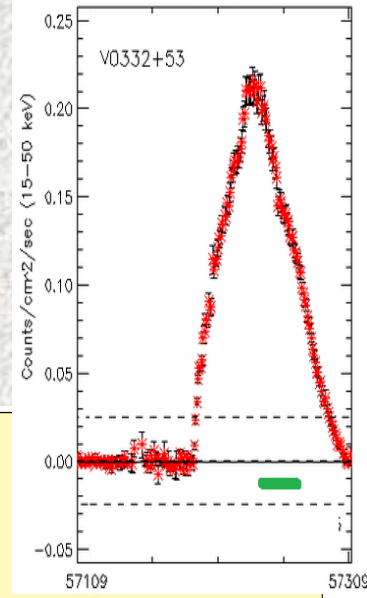
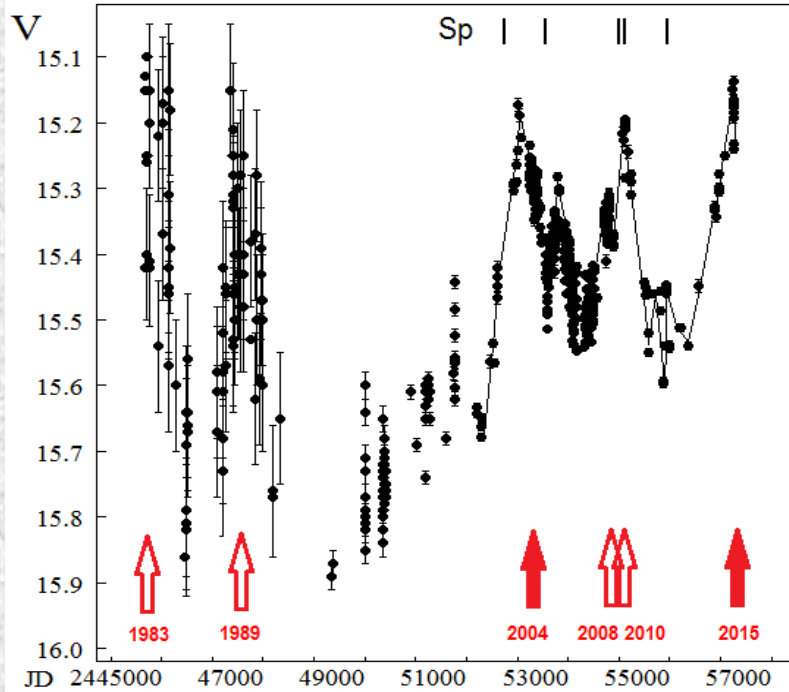
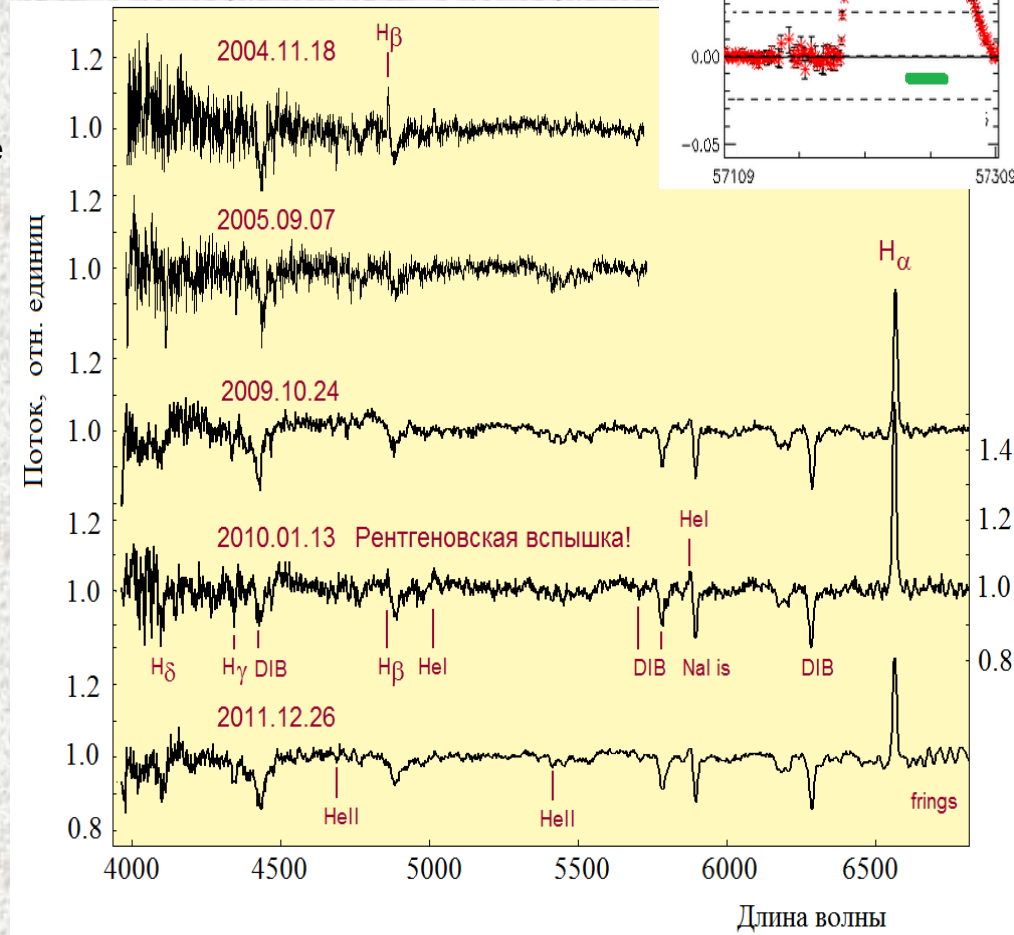


Фото Цейсс-1000 САО РАН

Красные стрелки – рентгеновские вспышки. Заполненные значки – гигантские вспышки.



Кривая блеска VQ Cam 1983-2015 г.: наблюдения фотографические, фотоэлектрические, ПЗС



Спектроскопия на БТА с UAGS и SCORPIO. Спектр 2010 г. получен при рентгеновской вспышке.

V490 Cep = Cep X- 4 (GS 2138+56)

Звезда B1V-B2Ve + нейтронная звезда, пульсар с периодом вращения $P_{\text{puls}} = 66.24$ s на орбите с периодом 20.85 сут.

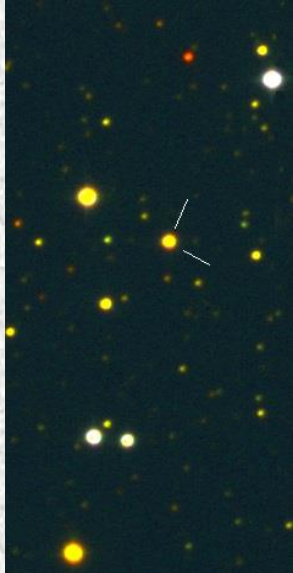
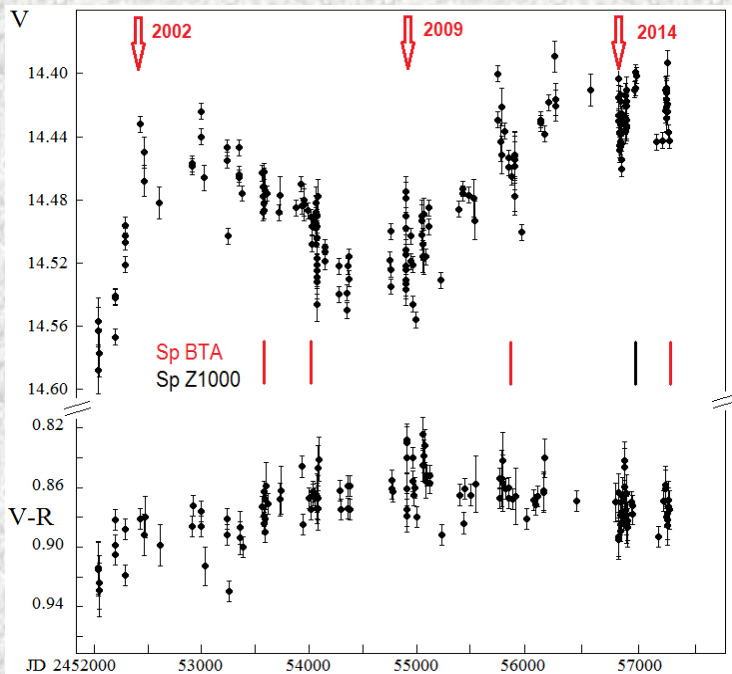
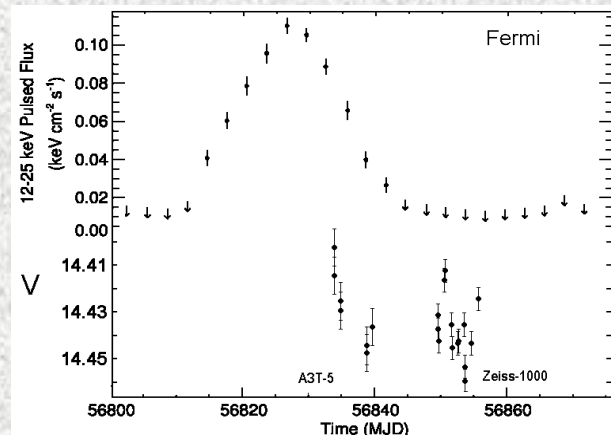


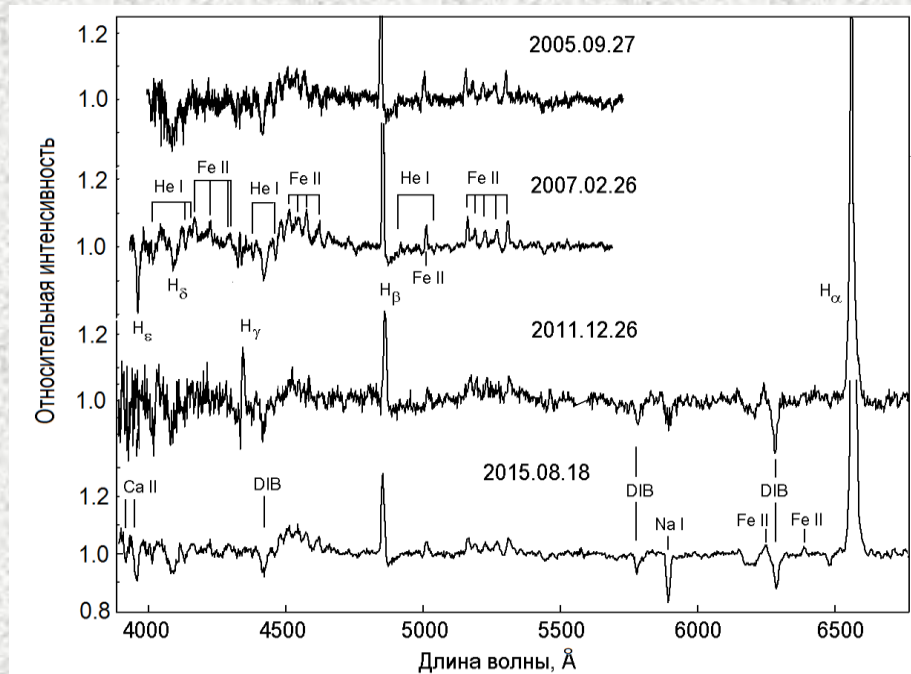
Фото Цейсс-1000
САО РАН

Наблюдения на телескопе АЗТ-5 Крымской станции ГАИШ МГУ попадают на спад потока рентгеновской вспышки, зарегистрированной на КО Fermi.



Кривая блеска V и показателя цвета V-R

Красные стрелки – моменты рентгеновских вспышек



Спектры БТА / SCORPIO

V934 Her (HD 154791) = 4U 1700+24

Рентгеновский транзиент. Красный гигант типа M2 III + нейтронная звезда на орбите с периодом 415 дней. Разделенная система. Нет пульсара.

Красный гигант – пульсирующая звезда

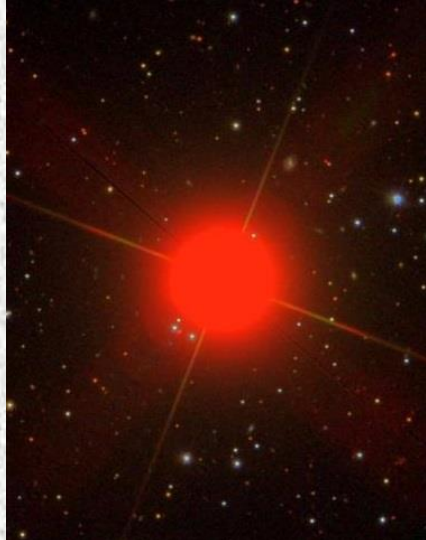
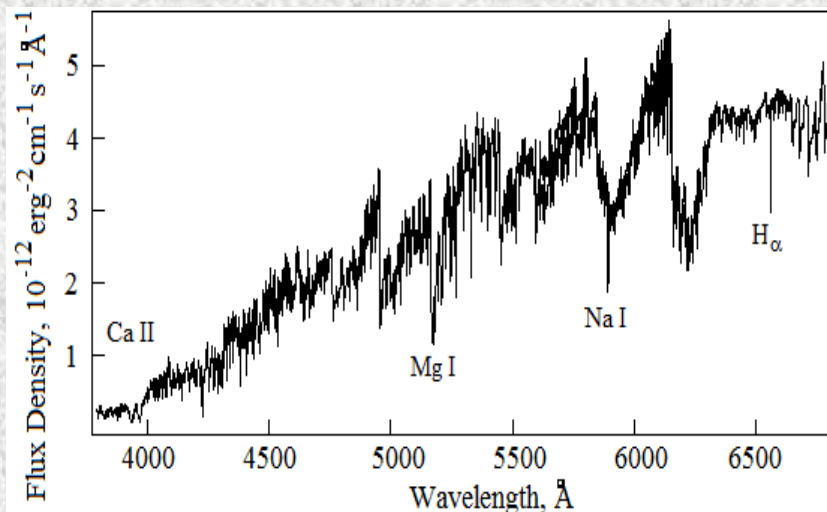
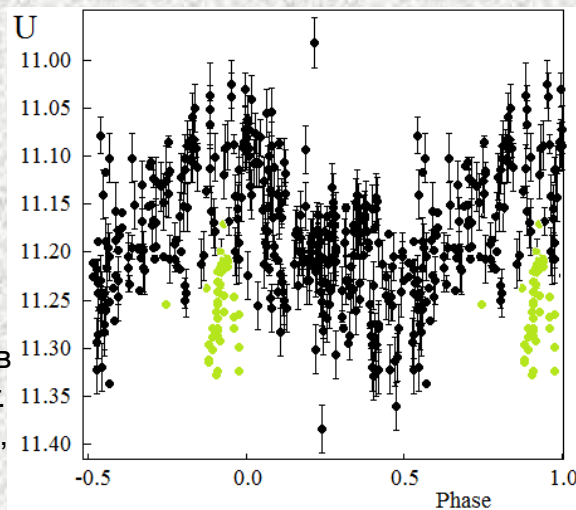
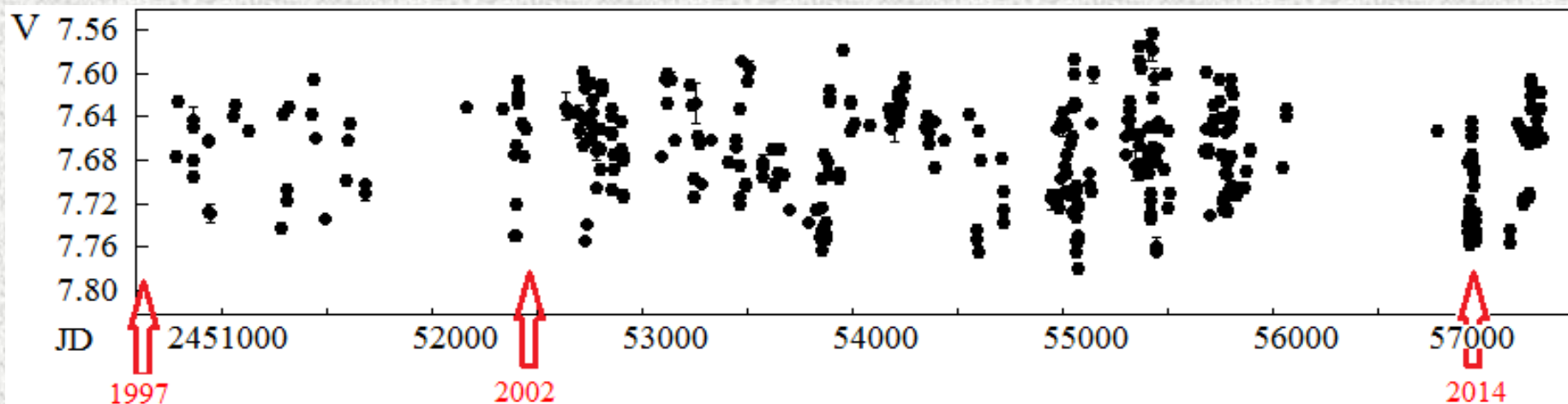


Фото SDSS



Спектр V934 Her (Цейсс-1000 CAO РАН). Видны полосы TiO.

Кривая блеска с орбитальным периодом в фильтре U. Зеленые точки – наблюдения в рентгеновской вспышке 2014 г. Цейсс-600 + фотометр Лютого, Крымская станция ГАИШ МГУ. Ослабление блеска в рентгеновской вспышке 2014 г.



Кривая блеска V934 Her в полосе V. Красными стрелками отмечены даты рентгеновских вспышек.

CI Cam = XTE J0421+560

Звезда типа В4 III-V[e] и белый карлик

Термоядерный взрыв на поверхности белого карлика в 1998 г.

Двухмодные
пульсации
В-звезды

Орбита по линии H α 4686 Å:

$K_{wd} = 230$ km/s

$\gamma = -51$ km/s

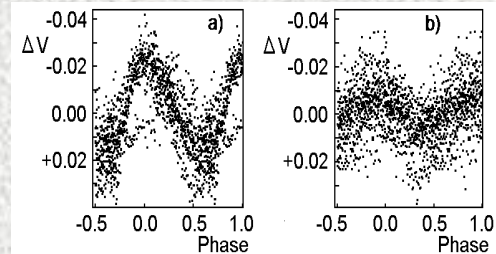
$e = 0.62$

$p = 19.407$ day

$T = \text{JD } 2452199.0$

$a \cdot \sin(i) = 48 \cdot 10^6$ km

$F_{wd}(M) = 12 M_{\odot}$



$P = 0.4152$ дня $P = 0.2667$ дня

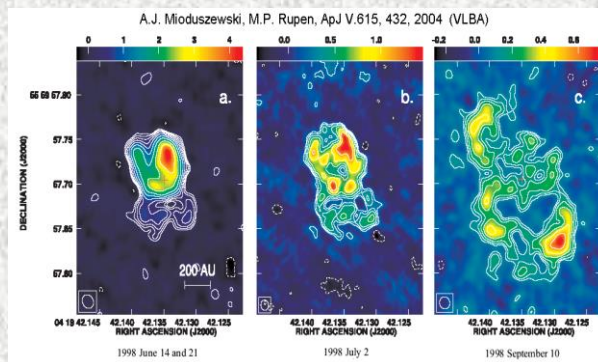
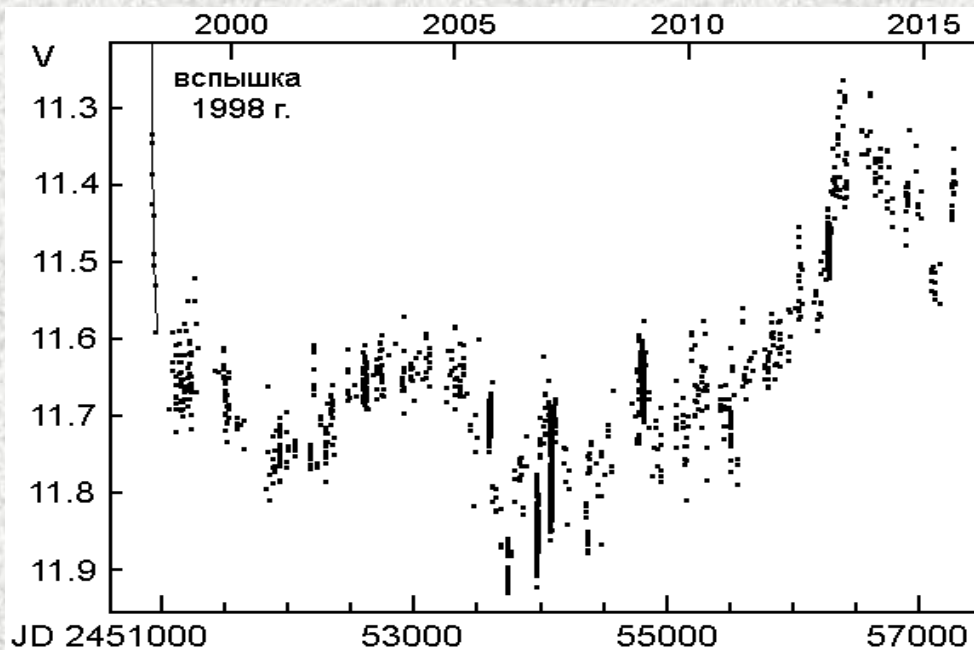
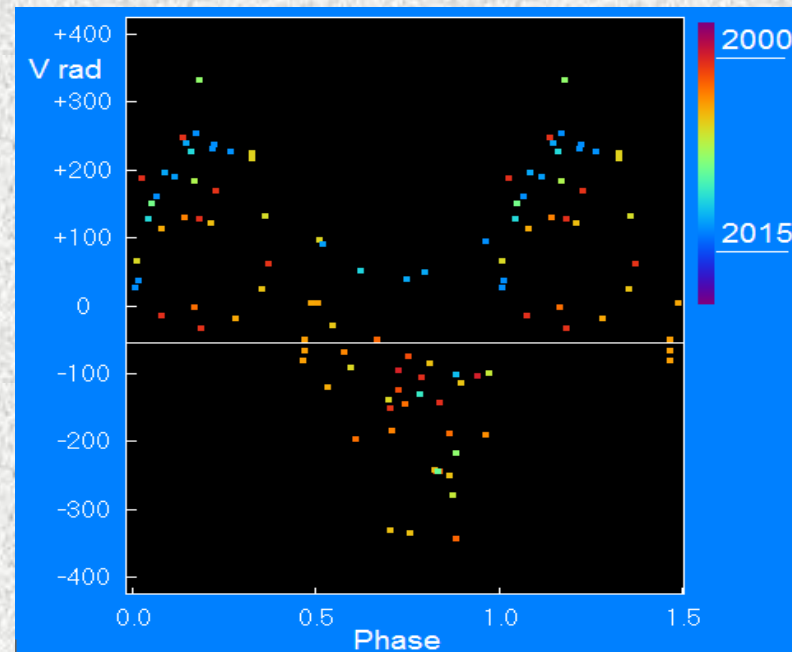


Фото SDSS



Кривая блеска CI Cam в фильтре V после вспышки 1998 г. Здесь показаны фотозлектрическая фотометрия Цейсс-600 Крымской станции ГАИШ с фотометром Лютого, ПЗС-мониторинг на АЗТ-5 в Крыму и ПЗС-фотометрия на 1-м Цейссе САО РАН.



Кривая лучевых скоростей по линии H α 4686 Å (Цейсс-1000, спектрограф UAGS), включая современные данные, полученные в октябре 2015 г.

KV UMa (XTE J1118+480)

Система, состоящая из звезды K5 V и черной дыры массой $6.8 \pm 0.4 M_{\odot}$, $P_{\text{orb}} = 0^{\text{d}}.16993393$, момент верхнего соединения K-звезды $T_0 = 2451868.8101$

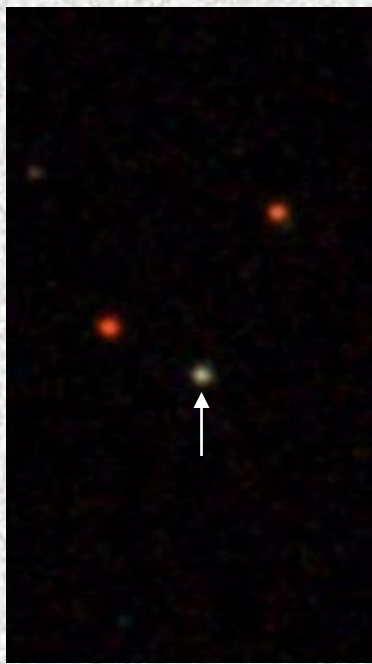
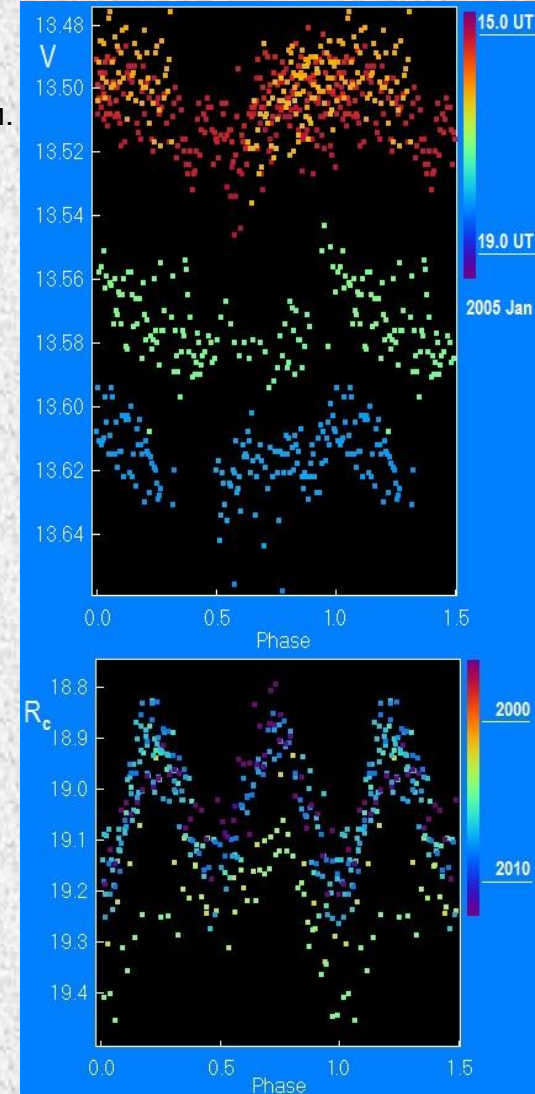


Фото SDSS

Фазовые кривые блеска с орбитальными элементами.

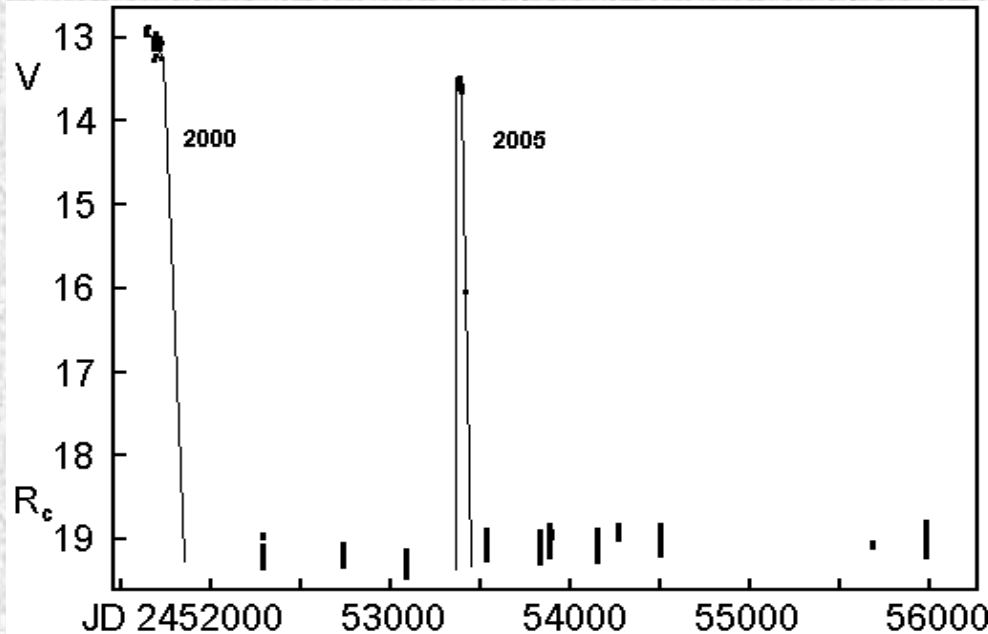
Вверху:

ПЗС-наблюдения на Цейсс-1000 САО РАН во вспышке 2005 г. Доминирует «эффект отражения» на поверхности K-звезды, обращенной в сторону черной дыры.



Внизу:

ПЗС-наблюдения на Цейсс-1000 САО РАН. Доминирует эффект эллипсоидальности K-звезды. Видны изменения уровня и формы кривой блеска.



Кривая блеска KV UMa. Наблюдения во вспышке 2000 г. на Цейссе-600 Крымской станции ГАИШ. Остальные наблюдения на Цейссе-1000 САО РАН. Заметно ослабление звезды в период между двумя вспышками.

V4641 Sgr (SAX 1819.3-2525)

Микроквазар. Звезда типа B9 III с массой $2.9 M_{\odot}$ + черная дыра с массой $6.4 \pm 0.6 M_{\odot}$ на орбите с $P = 2^d.81730$, $T_0 = 2451764.298$ – верхнее соединение В-звезды.

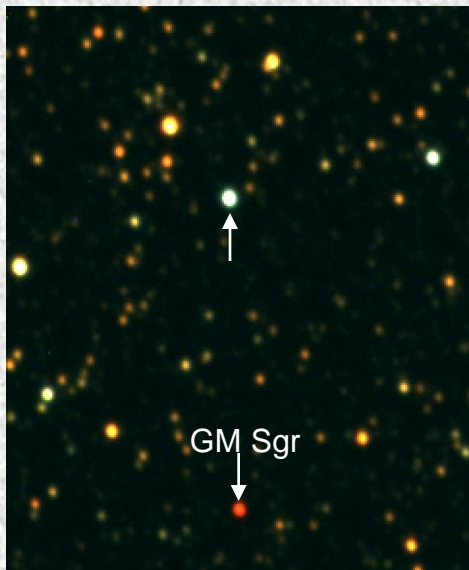
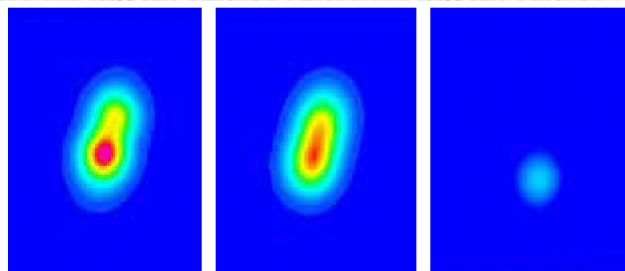


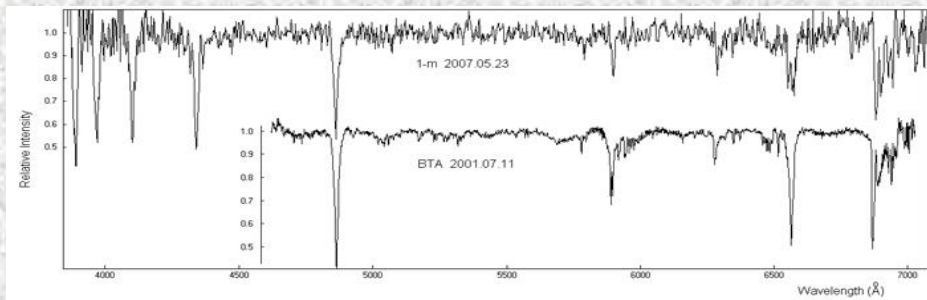
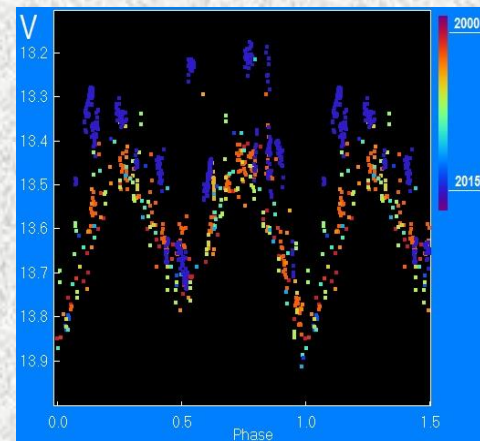
Фото Цейсс-1000



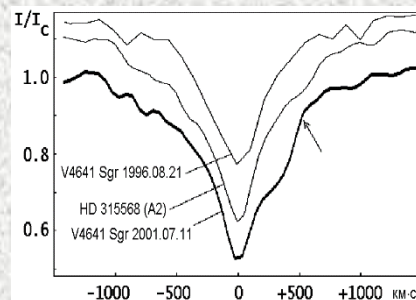
16 сентября 1999 г. через 30 мин 17 сентября 1999 г.

Радиоинтерферометрия на VLA, R.Hjellming, 1999

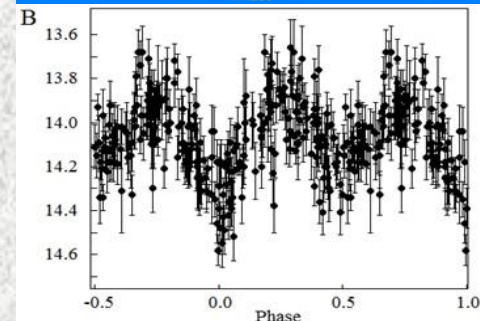
ПЗС-фотометрия САО и ГАИШ МГУ. Наблюдения 2015 г. в активном мягком рентгеновском состоянии – синие значки.



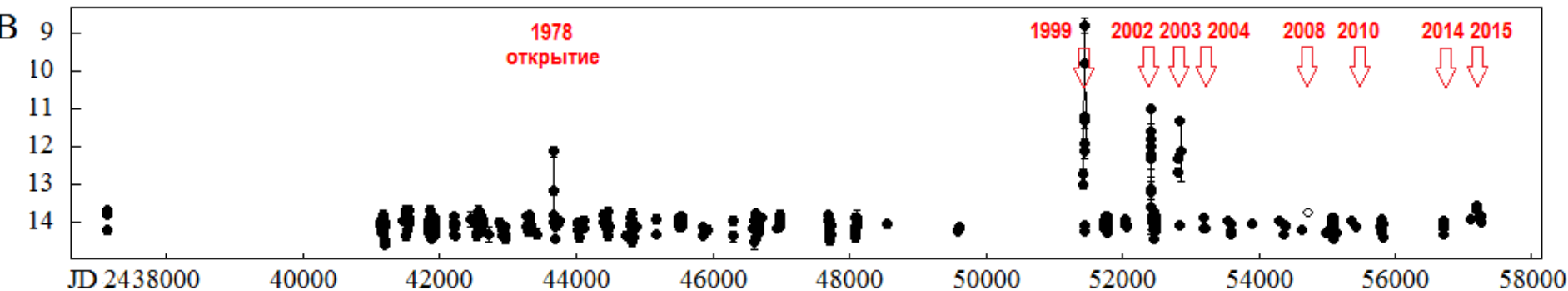
Спектры V4641 Sgr на Цейсс-1000 и БТА с UAGS



Профили линии H α



Архивные наблюдения на 40-см астрографе ГАИШ



Историческая кривая блеска V4641 Sgr. Красными стрелками отмечены моменты рентгеновских вспышек.

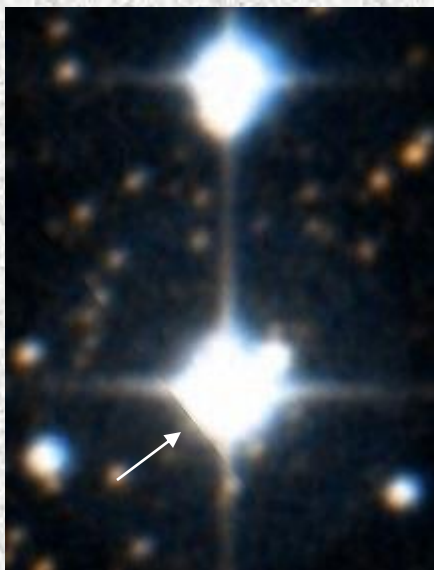
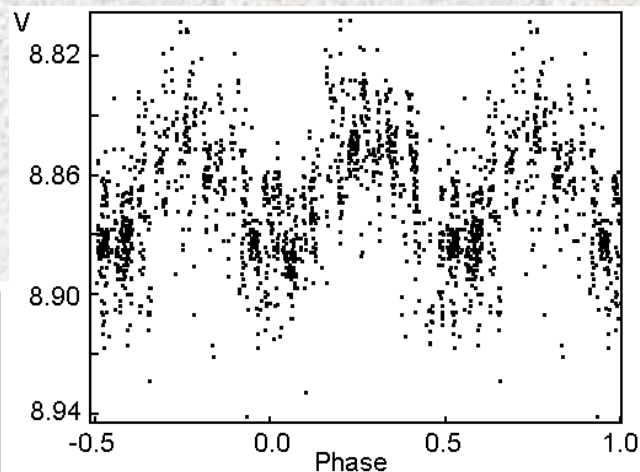
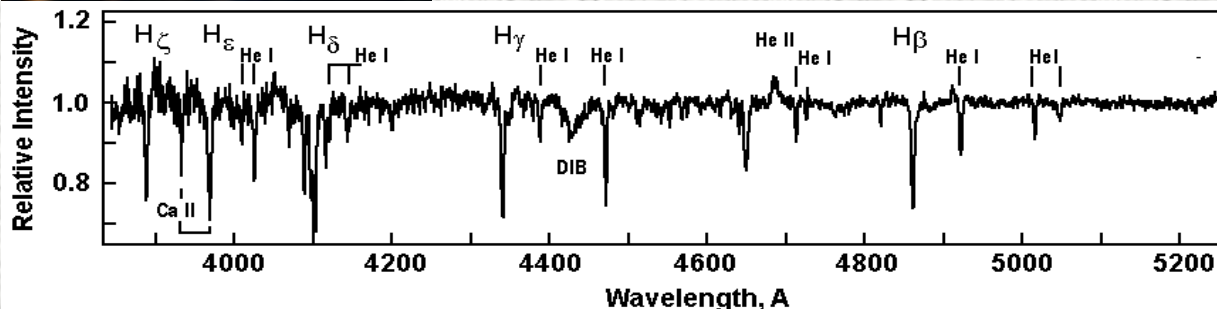


фото Aladin

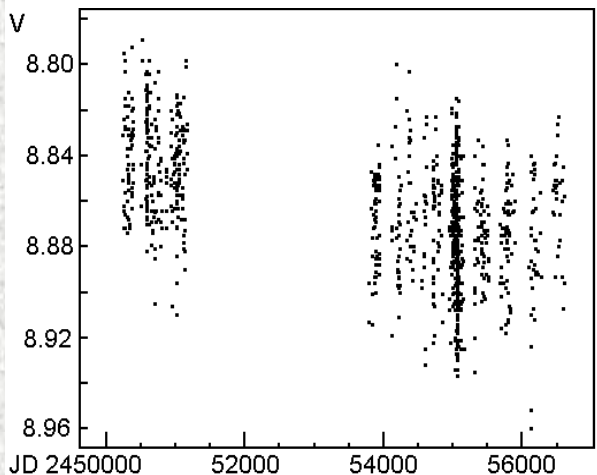
V1357 Cyg (Cyg X-1)

Система звезды O9.7 Iab ($M=19 M_{\odot}$) и черной дыры ($M=15 M_{\odot}$) с орбитальным периодом $5^d.599829$, $T_0=2441163.529$ (Min I, нижнее соединение O-звезды).

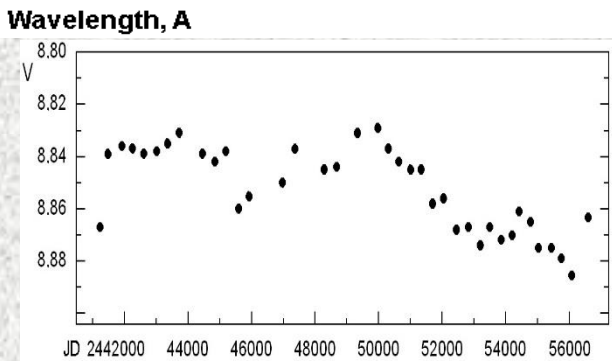
Спектр Cyg X-1 в синей области. Линия He II 4686 Å в эмиссии принадлежит аккреционному диску. Спектр Цейсс-1000 / UAGS.



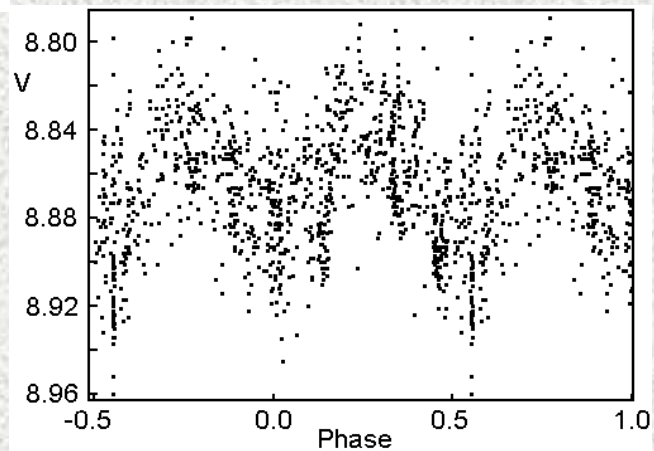
Кривая блеска по результатам кампании по СНГ 1994-1998 г.



Вековой тренд в крымских наблюдениях (Zeiss-600 + рне фотометр Лютого)



Вековой тренд среднего блеска Cyg X-1 по однородным наблюдениям на фотометре Лютого (Karitskaya et al., 2006, IBVS No.5678), дополненный новыми данными.



Кривая блеска по новым наблюдениям Метловой 2006-2009 г. (Крым, Zeiss-600)

V1494 Aql (1999 No.2)

Классическая новая класса FeII по Вильямсу, затменная система, $P_{orb} = 0^d.134614610$, Min I = JD hel 2456486.4404.

В фазе SSS находилась с 217-го дня после максимума в течение 298 дней.

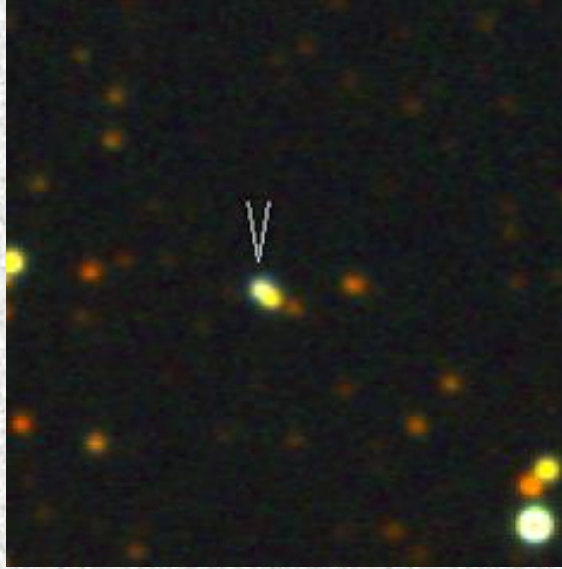
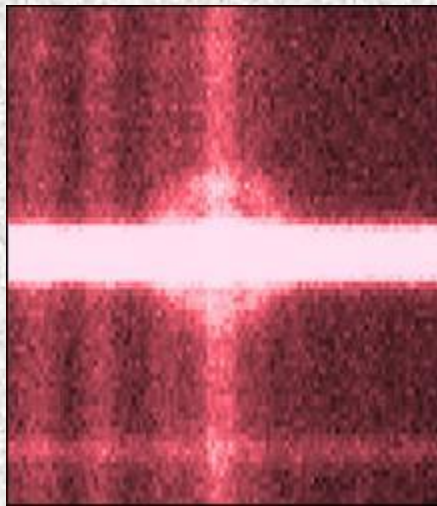
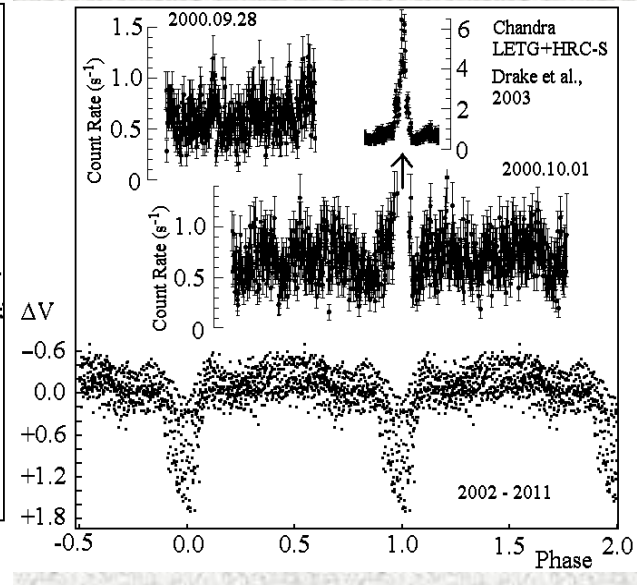
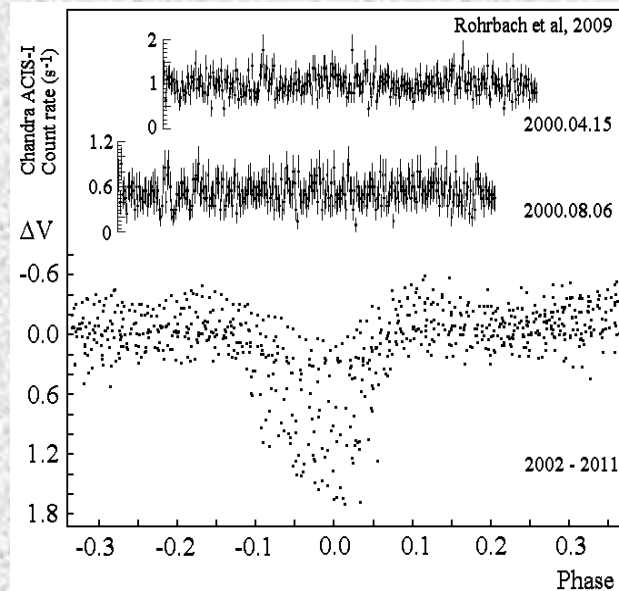


Фото Цейсс-1000

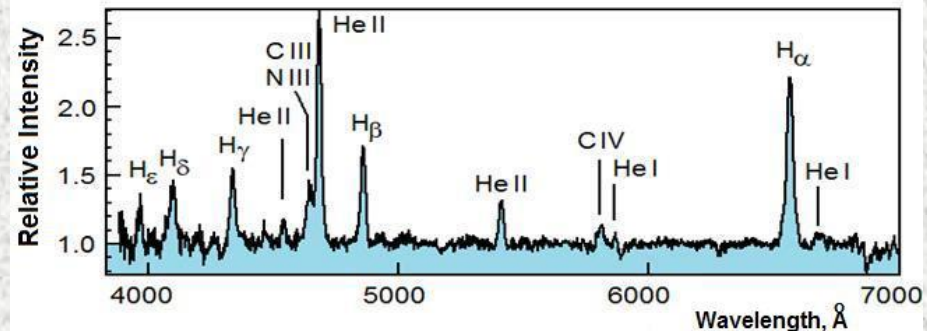


Разрешенная оболочка новой в линии H α в спектре БТА/SCORPIO. Изображение одновременно содержит информацию о размере и скорости расширения оболочки, откуда определяется расстояние 1.2 ± 0.2 кпк.



Сопоставление рентгеновских наблюдений Chandra по фазе с оптической кривой блеска. ПЗС-наблюдения Цейсс-1000 САО РАН и Цейсс-600 Крымской станции ГАИШ. При глубоких затмениях в оптике нет никаких следов затмения в рентгене. В фазу затмения приходится единственная наблюдавшаяся рентгеновская вспышка.

Спектр 9 июня 2013 г. на 4938-й день после максимума. Уже катаклизмическая переменная.



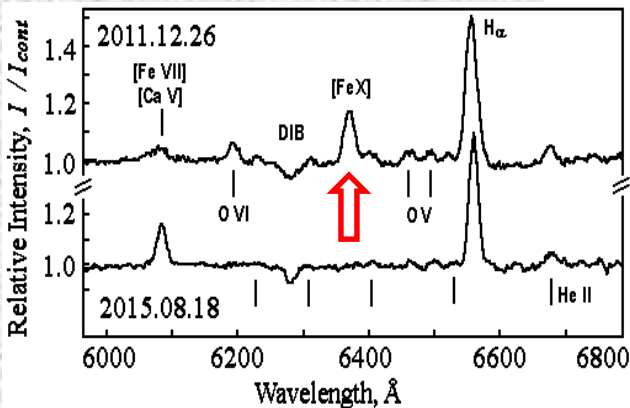
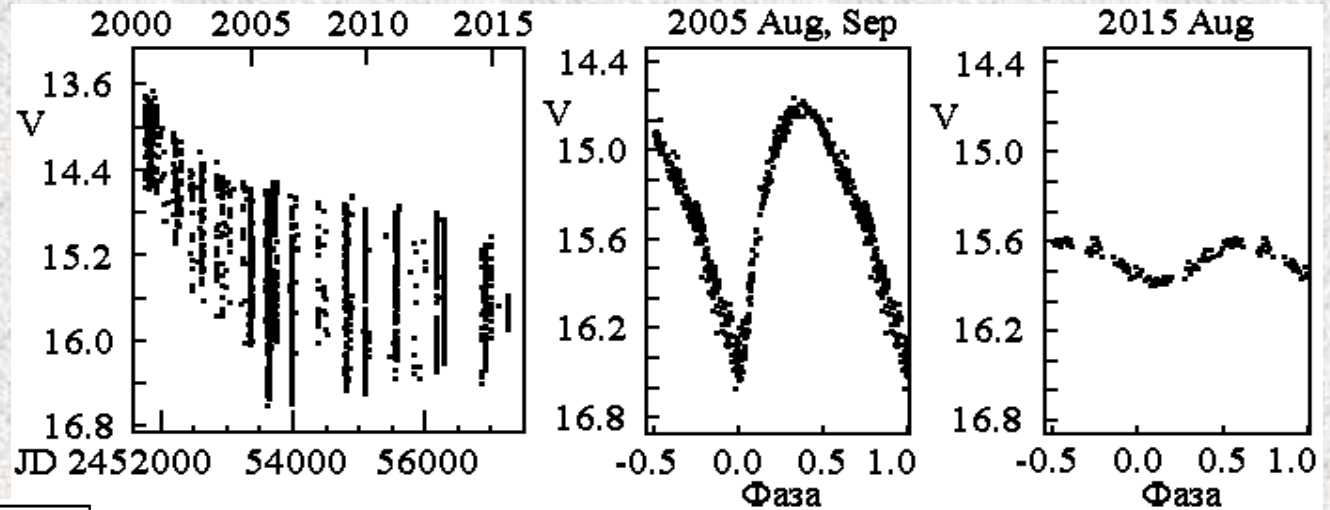
V723 Cas (1995)

Классическая новая класса Fe II по Вильямсу,
 $P = 0^d.6932673$, $\text{Min} = \text{JD hel } 2453628.5275$.
 В фазе SSS наблюдалась 12 лет.

С 1998 г. наблюдаются периодические изменения блеска с амплитудой до 2^m V. Впервые зарегистрирована как источник сверхмягкого рентгеновского излучения (SSS) в 2006 г. КО Swift. Рентгеновский источник исчез между 19 августа 2013 и 1 апреля 2014 г. В августе 2015 г. амплитуда переменности уменьшилась в 6 раз.



Фото Цейсс-1000.
 Ниже отмечена новая
 переменная звезда,
 открытая при
 наблюдениях V723 Cas.



Фрагмент кривой блеска в
 шкале времени (Цейсс-600 и
 АЗТ-5 Крымской станции
 ГАИШ; Цейсс-1000 CAO РАН).

Фазовая кривая блеска
 с максимальной
 амплитудой в фазе
 SSS.

Кривая блеска с минима-
 льной амплитудой при
 выключенном SSS.

Спектры БТА/SCORPIO.

18 августа 2015 г. полностью исчезла эмиссия
 $[\text{Fe X}]$, которая была сильной в фазе SSS.

SSS – фаза открытого
 термоядерного горения на
 поверхности белого карлика.
 Возможно, это происходит в
 магнитных полюсах.

V2468 Cyg (2008)

Классическая новая класса FeII по Вильямсу.

Период модуляции оптического излучения $0^d.145250$, Min = JD hel 2456006.355.

Фаза SSS началась в июне 2009 г. ~460 дней после максимума. 27 июля 2012 г. интенсивность SSS увеличилась в 5 раз (Swift). Сообщений об окончании фазы SSS на дату 18 октября 2015 г. нет.

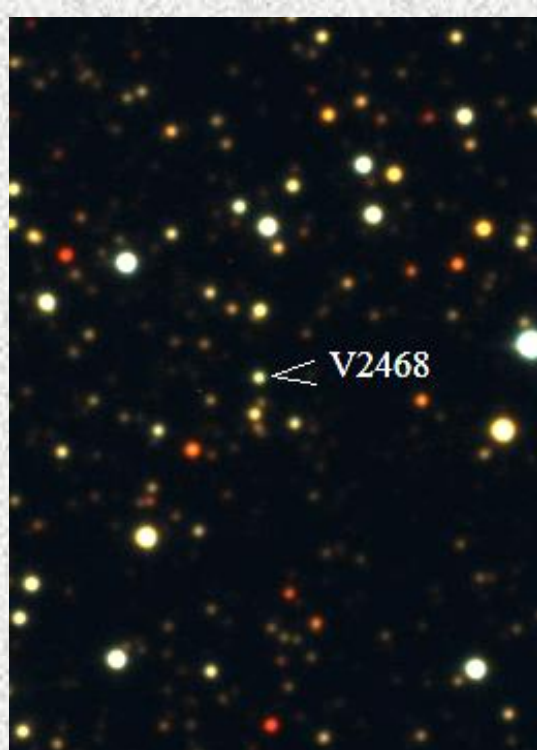
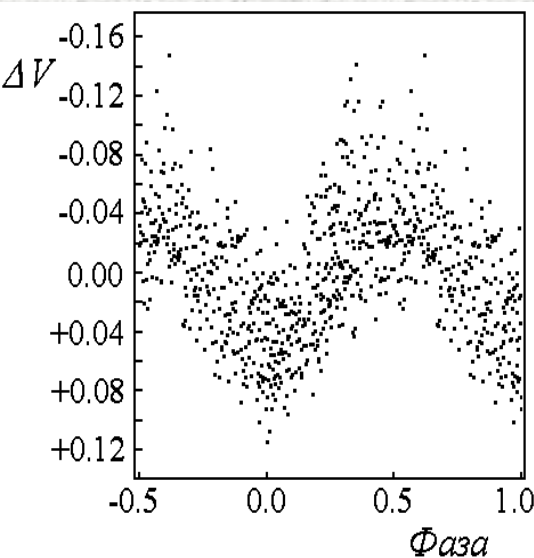
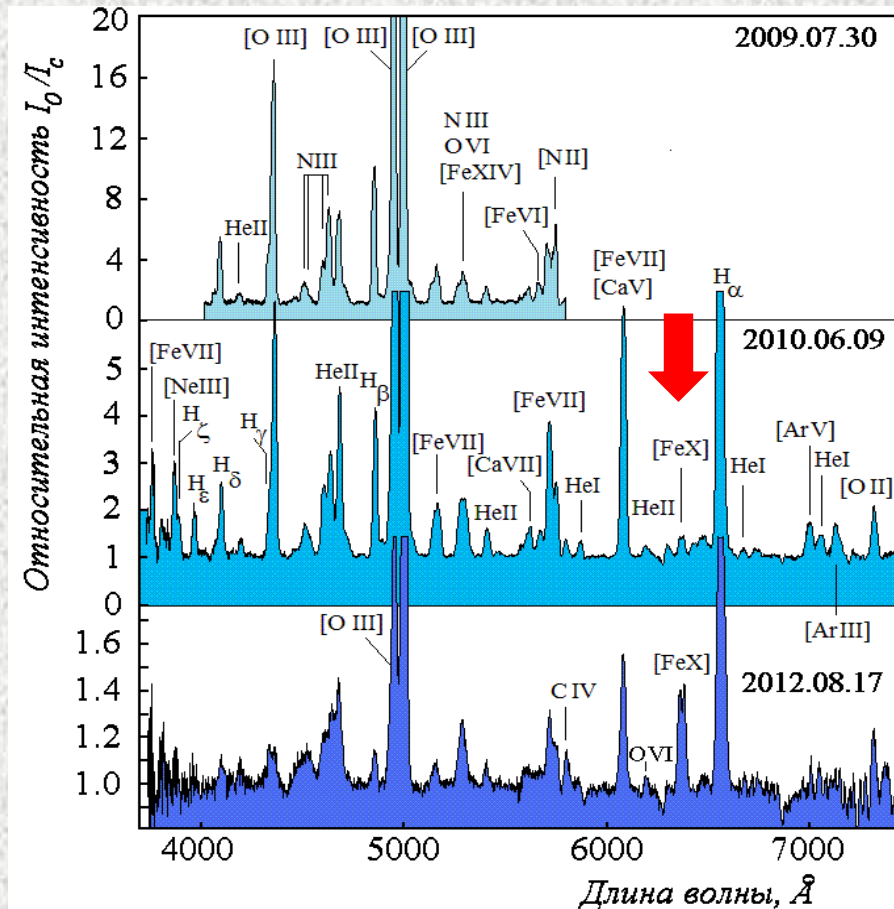


Фото Цейсс-1000, 2012 г.

Спектры БТА / SCORPIO. Линия [Fe X] зарегистрирована 6 сентября 2010 г. Усилена 17 августа 2012 г. после сообщения с КО Swift.



Фазовая кривая блеска, полученная на 60-см Цейссе Крымской станции МГУ в августе 2012 г. сразу после сообщения об увеличении рентгеновского излучения с КО Swift.



Спасибо за внимание