

Спектральные и фотометрические исследования рентгеновских транзиентных источников

**Барсукова Е.А., Буренков А.Н., Борисов Н.В., Валеев А.Ф.,
Клочкова В.Г. и Юшкін М.В.
(САО РАН);
Горанский В.П. и Метлова Н.В.
(ГАИШ МГУ и Крымская станция ГАИШ)**

Spectral and photometric investigations of X-ray transient sources

Barsukova, E.A., Burenkov, A.N., Borisov, N.V., Valeev, A.F., Klochkova, V.G., and Yushkin, M.V. (SAO RAN);
Goranskij, V.P., and Metlova, N.V. (SAI, Moscow University)

На конкурс-конференцию научных работ САО РАН

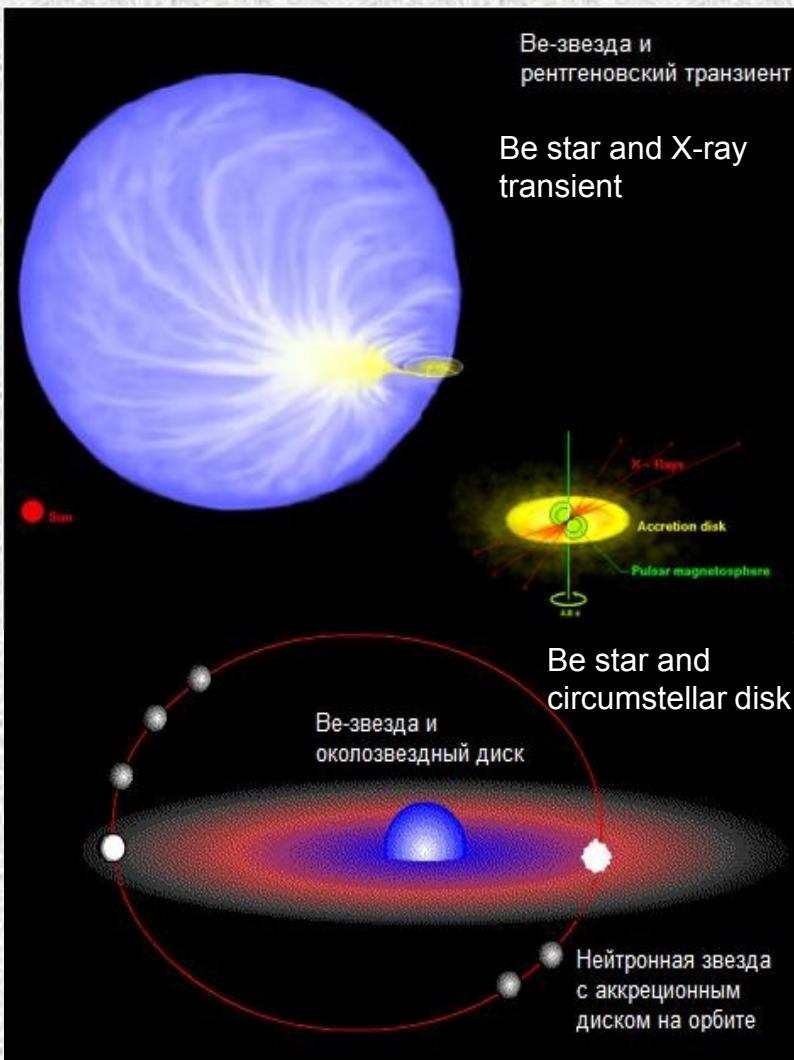
For scientific researches competition of SAO RAN

Секция: астрофизические работы

Section: Astrophysical researches

Nature of X-ray transient sources

These are the objects that appear on the X-ray sky and then disappear what differs them from stationary sources.



These are the systems which contain compact components of different nature, white dwarf, neutron star or black hole. X-ray radiation appears due to accretion of matter on a compact object.

Causes of X-ray outbursts:

- Thermonuclear explosion of hydrogen** on the surface of the white dwarf (CI Cam);
- accumulation of matter in the accretion disk near a neutron star and falling of matter into magnetic poles of a neutron star** where the thermonuclear burning initiates. Pulsar appears during X-ray outbursts, but it does not manifest itself in the quiet state (Be stars, BQ Cam, V490 Cep);
- falling of low-mass bodies on a compact object due to gravitational capture** (a comet nucleus or a meteoroid) in the detached system (V934 Her, V4641 Sgr).

Targets of this research are high-mass X-ray binaries, the purpose is to study the evolution of binary components and search of evolutionary traces in their spectra.

Многоцветные фотометрические наблюдения пяти массивных рентгеновских систем выполнены в САО РАН на 1-м рефлекторе Цейсса, в ГАИШ МГУ на 60-см рефлекторах Цейсса и на 50-см менисковом телескопе Крымской станции ГАИШ, а спектроскопические наблюдения на 6-м телескопе САО РАН со спектрографами UAGS, NES и SCORPIO.

3 из 5 представленных объектов являлись резервными в спектральных программах на БТА.

Наблюдения проводились в 2001 – 2012 годах.

Мы восстановили фотометрическую историю пяти рентгеновских систем по архивам фотографий звездного неба с применением цифровой обработки изображений.

Multicolor photometric observations of five HMXBs were performed in SAO RAS using 1 m Zeiss reflector, in SAI (Moscow University) Crimean Station 60 cm reflectors and 50 cm Maksutov telescope; and spectroscopic observations were carried out with the Russian 6 m BTA telescope with UAGS, NES, and SCORPIO spectrographs.

Three of 5 presented objects were reserve targets in spectroscopic observing programs for BTA.

The observations were performed in 2001 – 2012.

We restore photometric history of five X-ray systems using photographic archives and applied digital reducing of images.

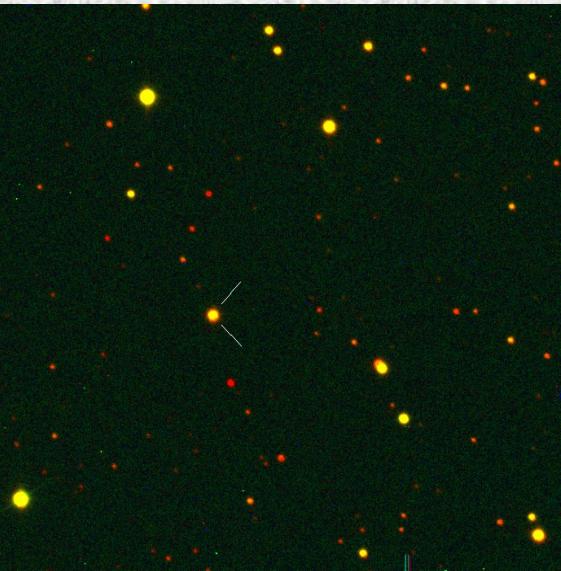
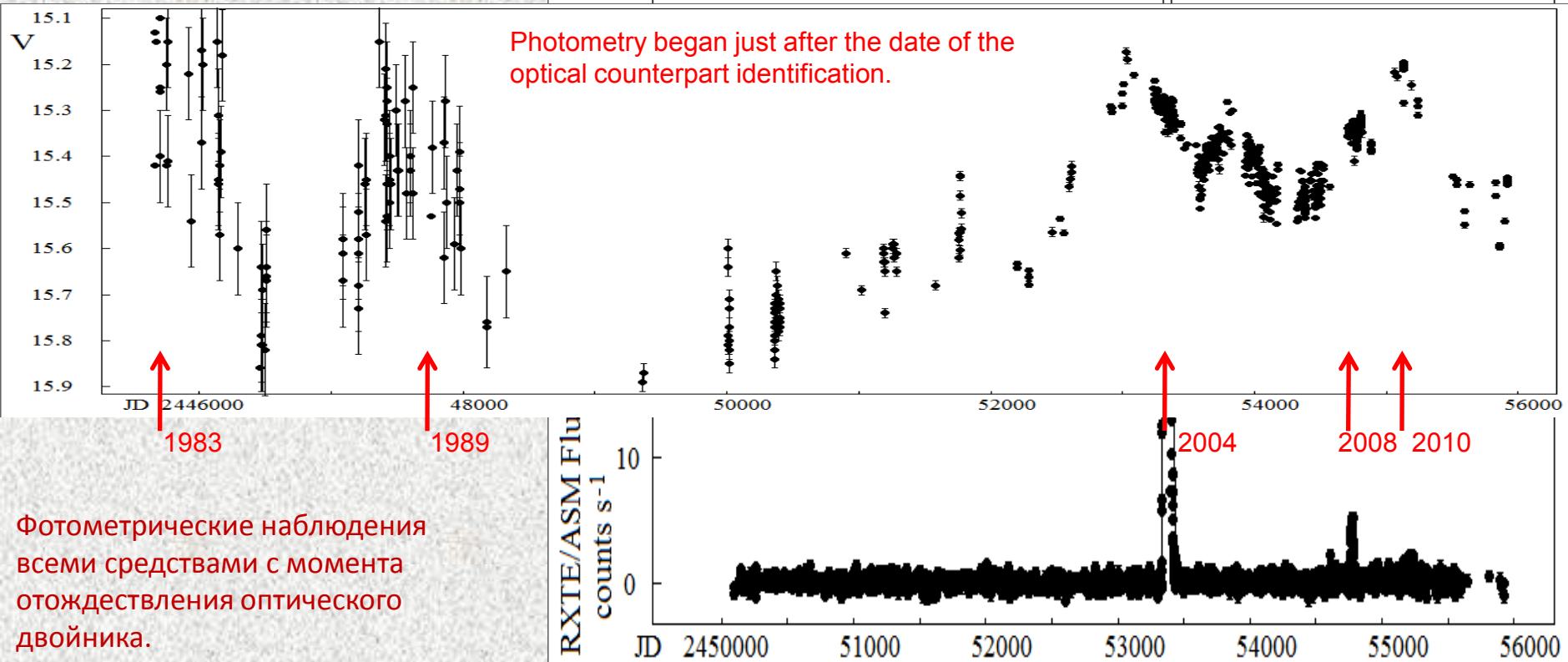
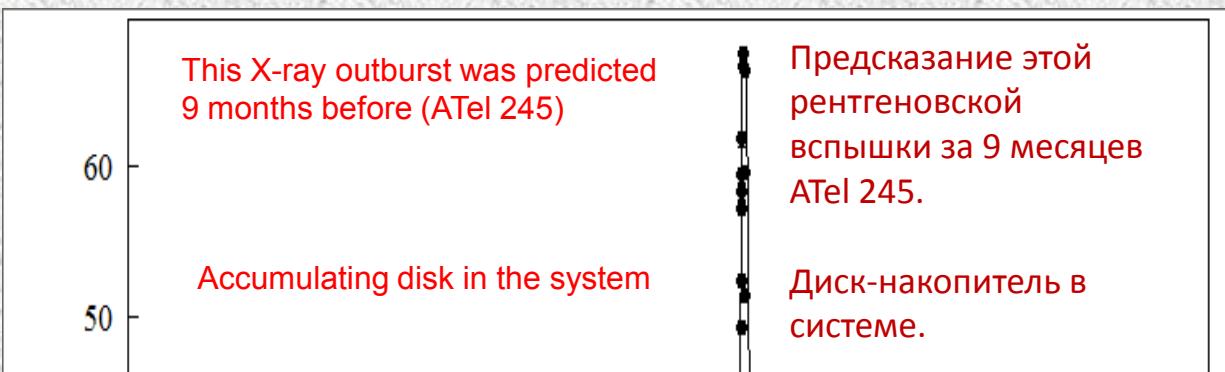


Фото Цейсс-1000

BQ Cam = V0332 +53

O8-9Ve star + neutron star & pulsar on 34.2 day orbit

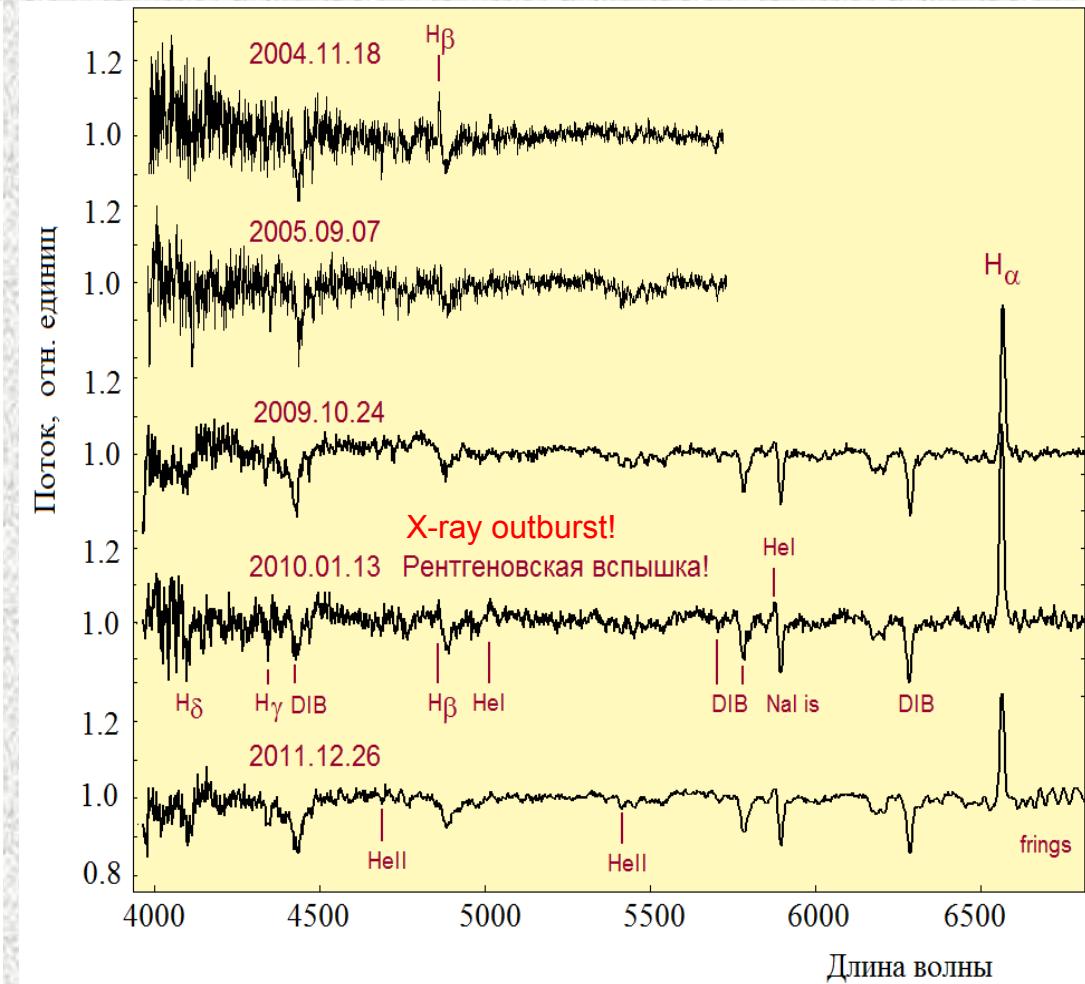
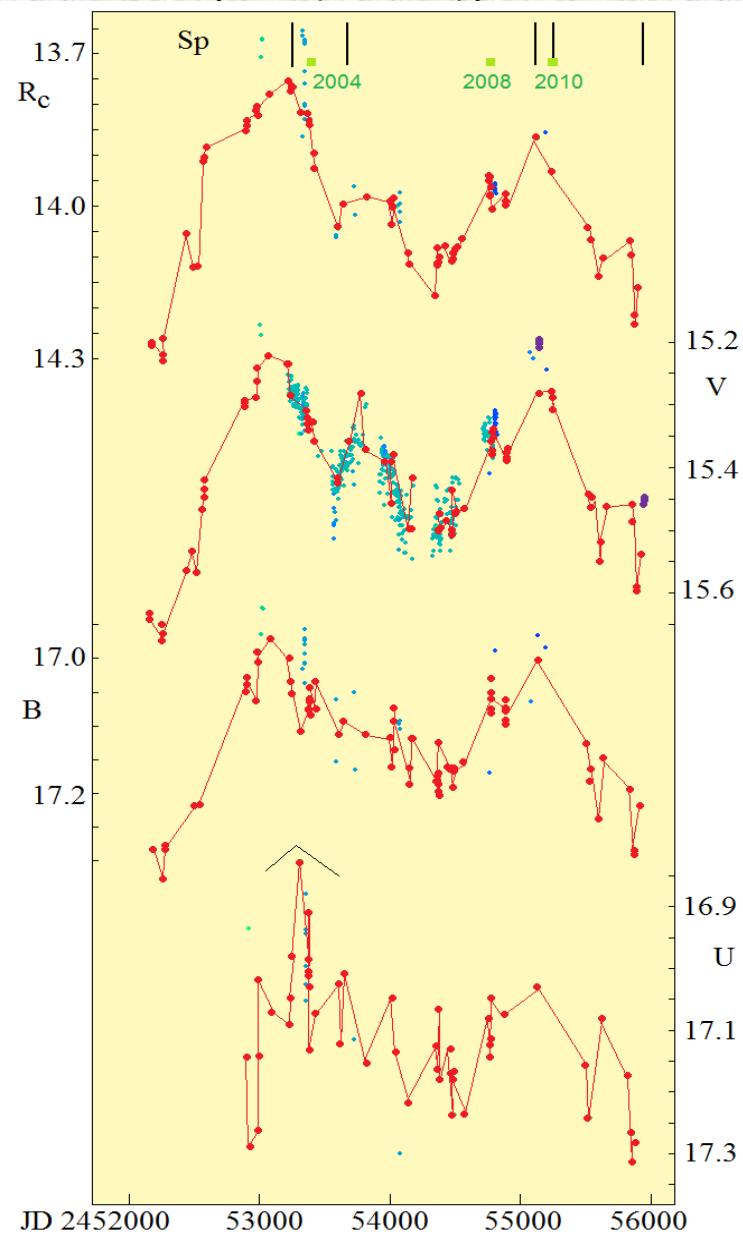
Звезда O8-9Ve + нейтронная звезда, пульсар
P_{puls} = 4.375 s. На орбите с P = 34.2 сут.



BQ Сам:

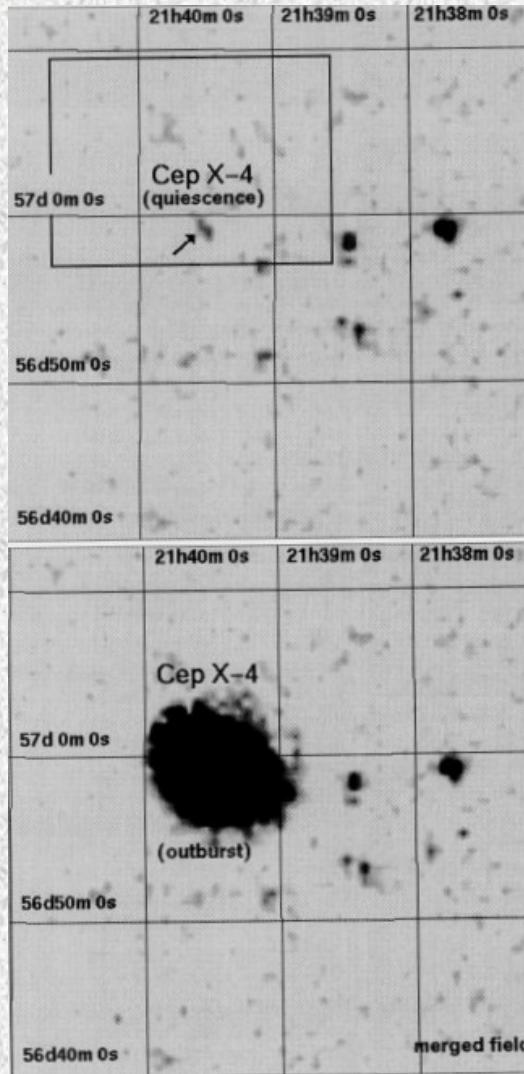
фотометрия и спектроскопия

Photometry and spectroscopy



Спектры БТА/SCORPIO.

Фотометрия: Цейсс-1000 – красные точки, БТА – фиолетовые точки, ROTSE-III (в фильтре V) – голубые точки, Цейсс-600 (КС ГАИШ) – синие точки.

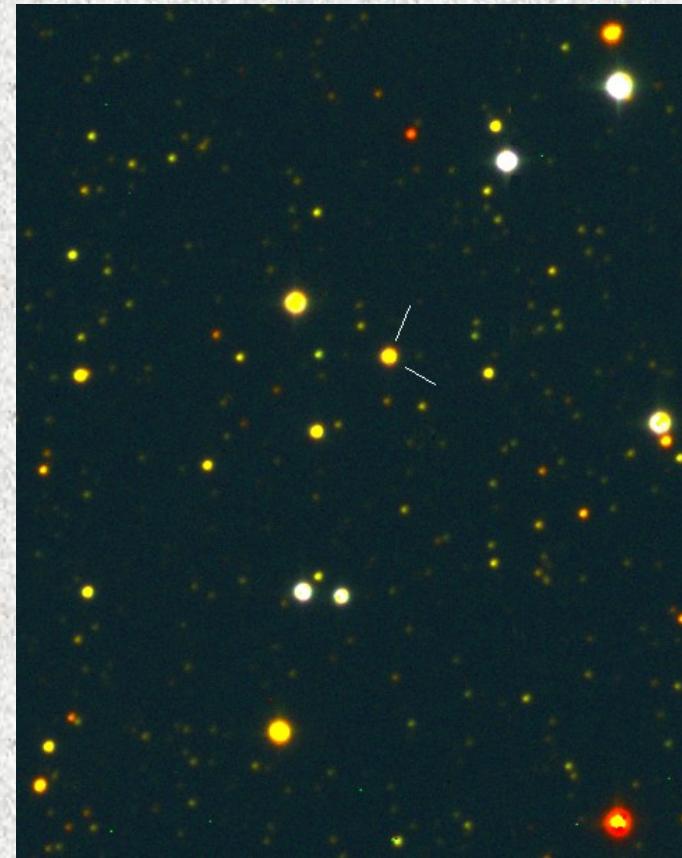


Изображения Сер X-4 в рентгеновских лучах (ROSAT/PSPC) в спокойном состоянии и во вспышке в июне 1993 г. (Schulz et al., 1995)

V490 Сеп = Сер X-4 (GS 2138+56)

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

B1V-B2Ve star + neutron star & pulsar on the 20.85-day orbit



V490 Сеп в оптическом диапазоне (Цейсс-1000)

V490 Cep in the optical range (Zeiss-1000)

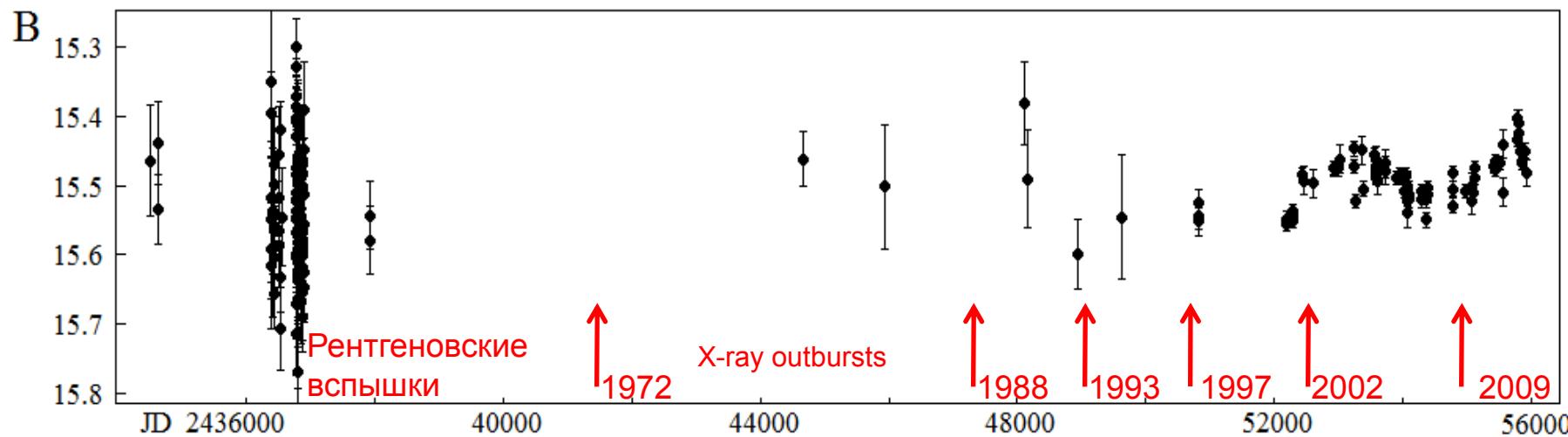
Сер X-4:

история исследования в оптике и в рентгене

Зоннеберг
Sonneberg

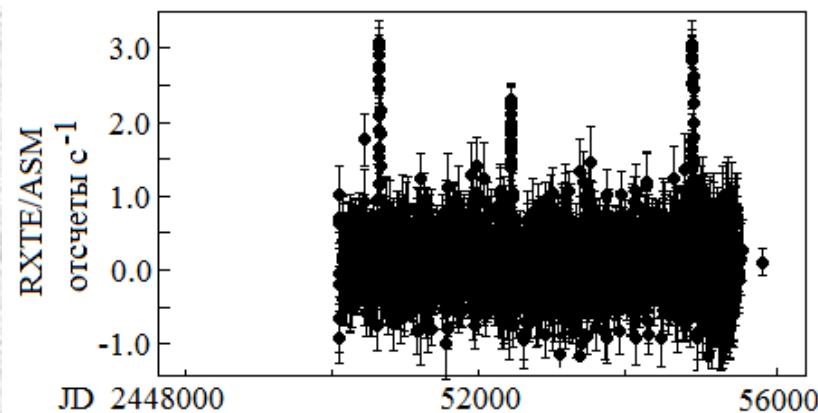
Фототека ГАИШ МГУ
Moscow plate collection

САО РАН и
ГАИШ МГУ
SAO RAS & SAI MSU



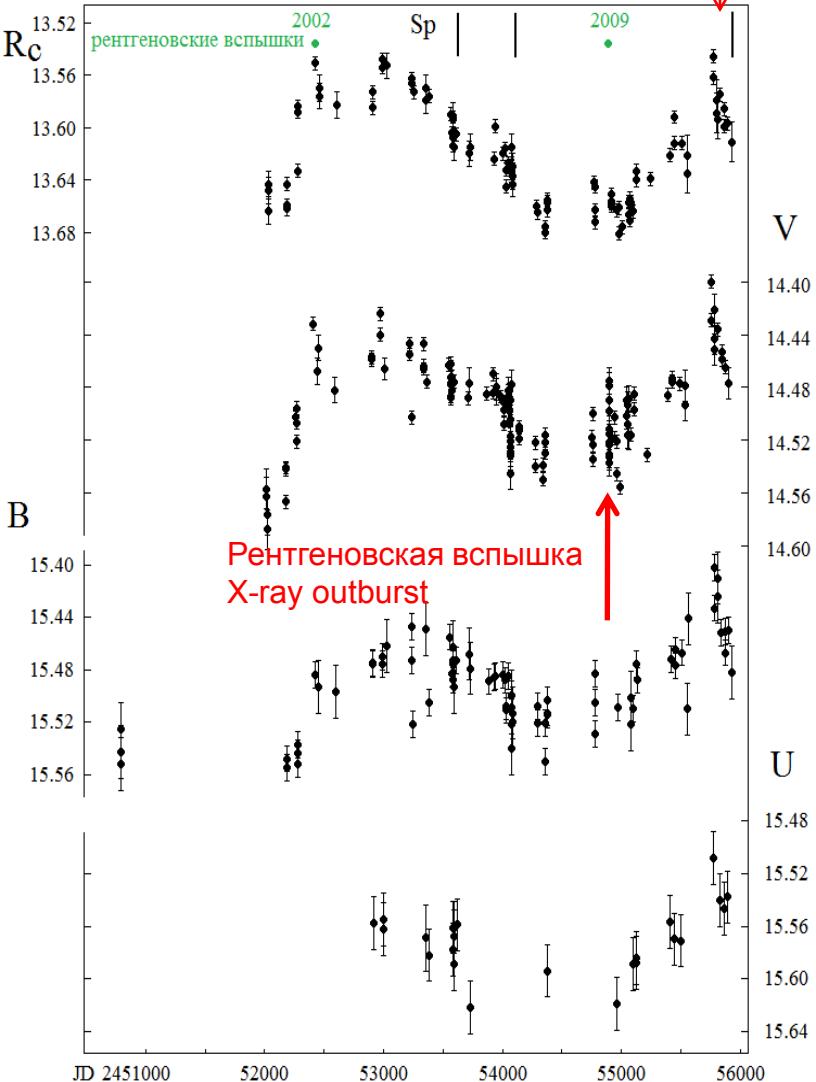
Открытие оптической переменности

Discovery of optical variability



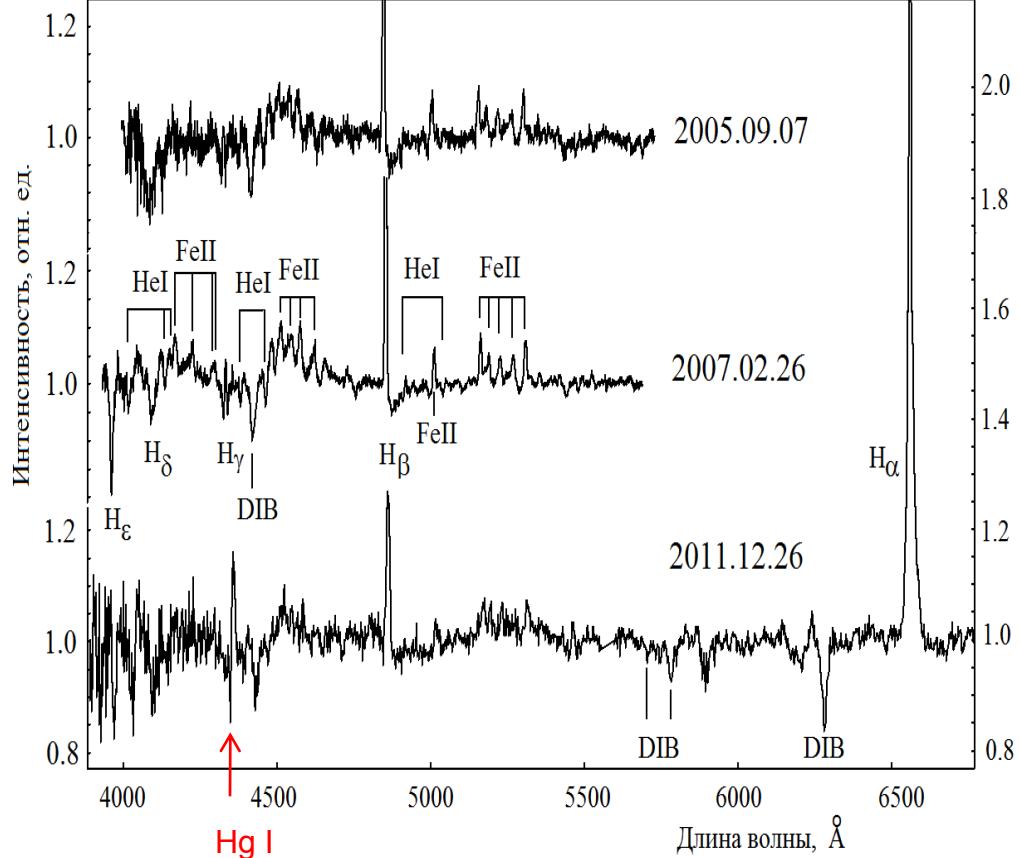
V490 Сеп: UBVR фотометрия и спектроскопия

UBVR photometry & spectroscopy



Оптическая
вспышка

Optical outburst



Световое
загрязнение
Light pollution

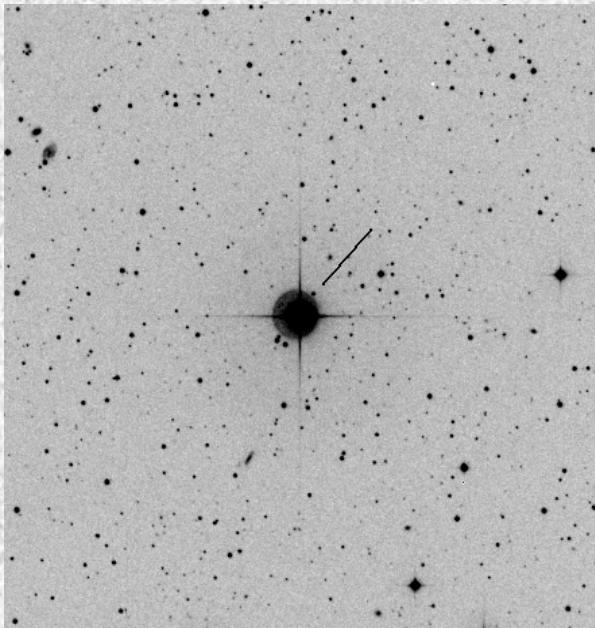
Спектры БТА/SCORPIO

ПЗС-фотометрия получена на телескопе Цейсс-1000 САО
РАН и на 60-см телескопе Крымской станции ГАИШ МГУ

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

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

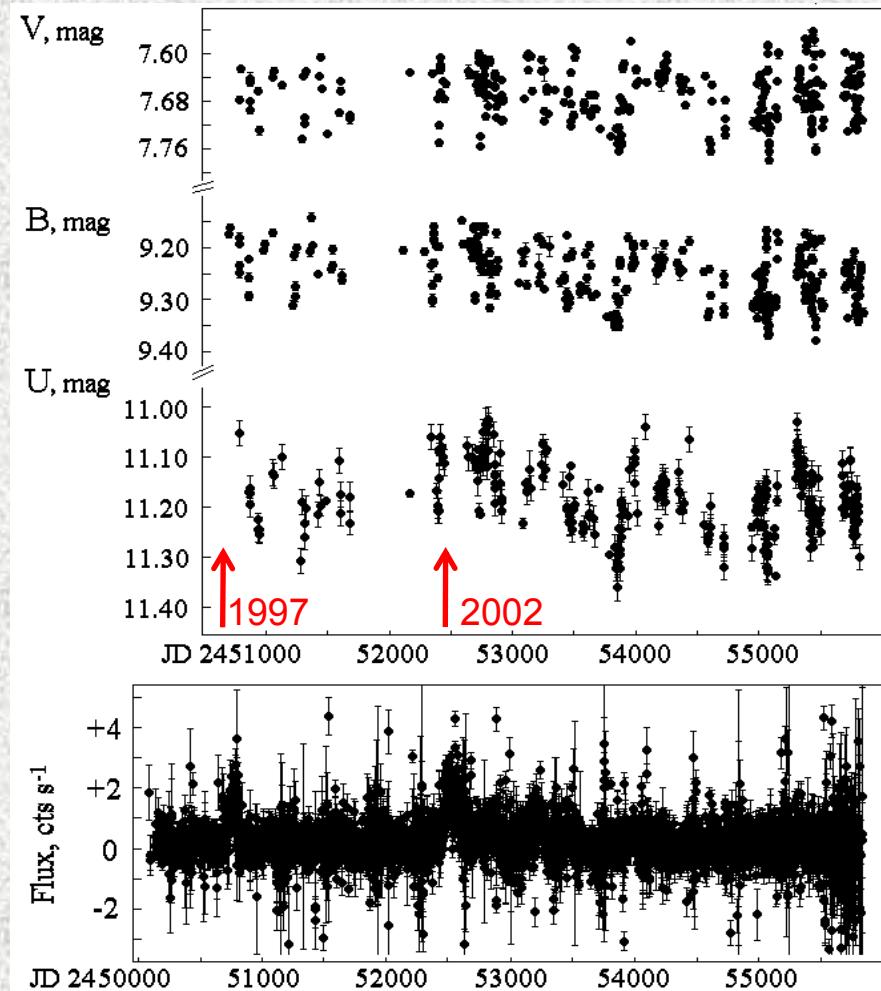
M2 III type red giant + neutron star on the 415-day orbit, detached system. No pulsar present.



Изображение V934 Her в оптическом диапазоне DSS, R, поле $5 \times 5'$
Optical image

UBV light curves & RXTE/ASM flux curve

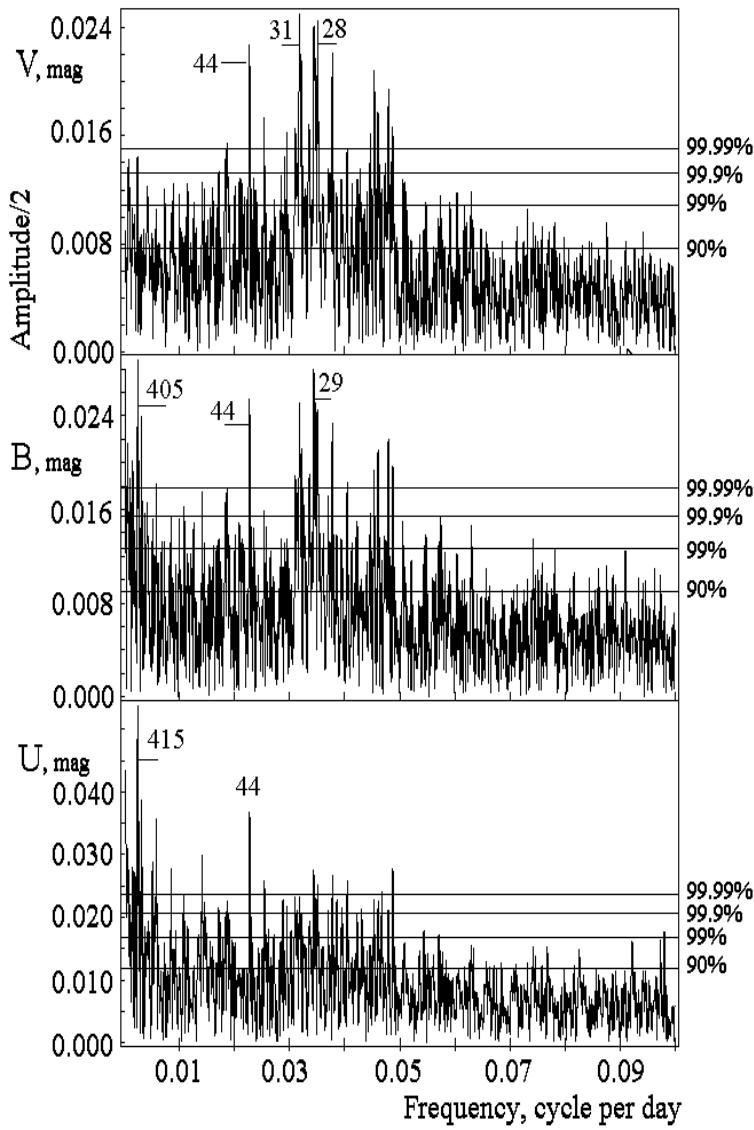
Кривые блеска в полосах системы UBV и сравнение с кривой рентгеновского потока по данным RXTE/ASM.



V934 Her:

орбитальные изменения блеска и рентгеновского потока

Orbital light and X-ray flux variations



415-day phased
light and flux
curves

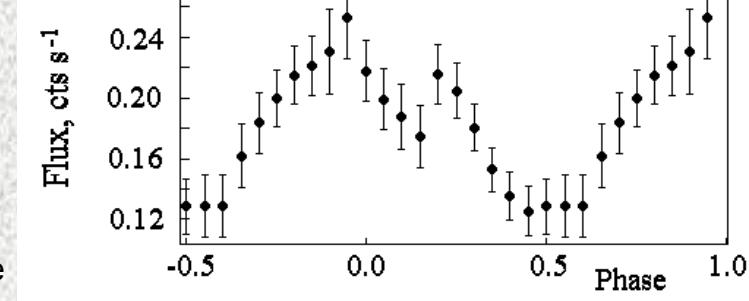
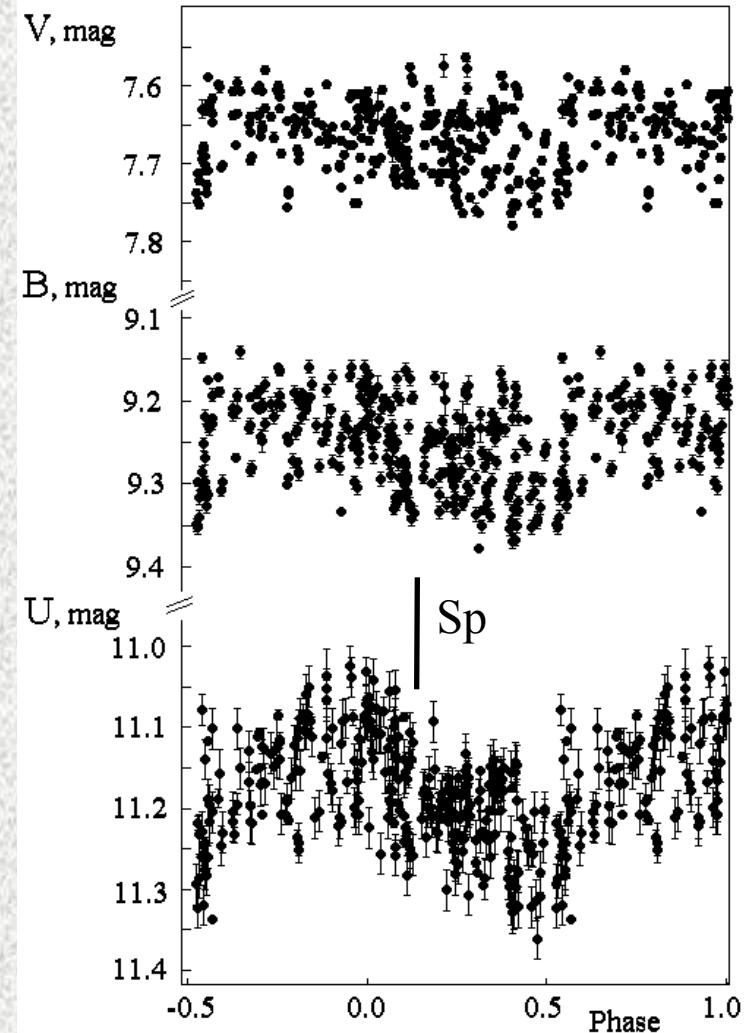
Амплитудные
спектры

Amplitude
spectra

RXTE/ASM

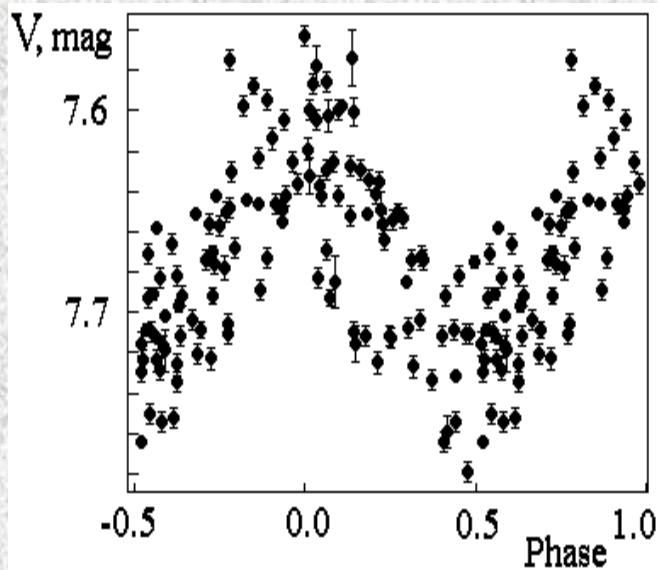
Средняя
кривая

Mean flux curve



V934 Her: мультипериодические пульсации красного гиганта

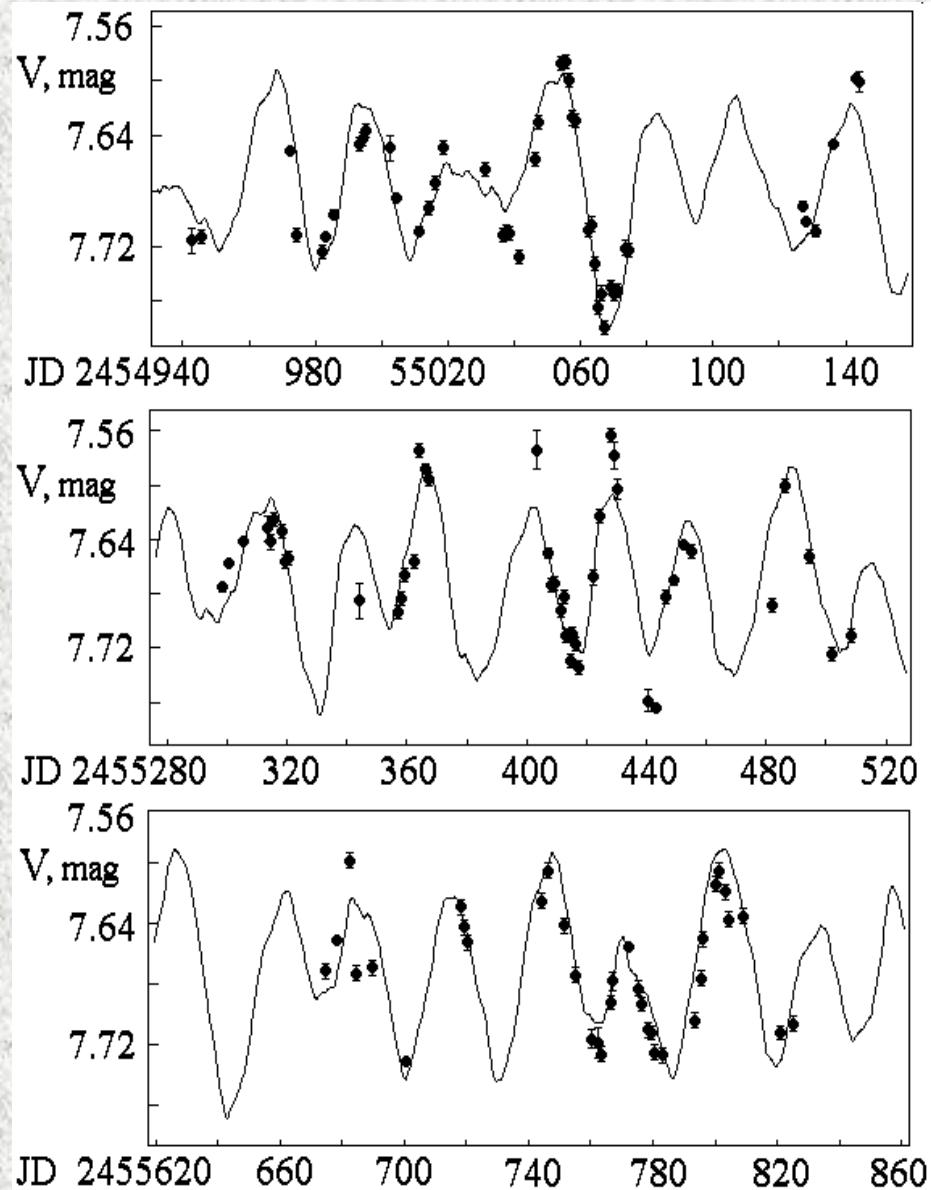
Multi-periodic pulsations of the red giant



Доминирует период пульсаций
28.82 дня

Pulsation with 28.82 day dominates

Monitoring data of three seasons 2009-2011
and model 4-component representation.



Данные мониторинга в 3 сезона 2009 – 2011 г.
Сплошная линия – модельное представление
суммой 4-х компонентов.

V934 Her:

спектр Цейсс-1000/УАГС и профили линий

Zeiss-1000/UAGS spectrum and line profiles

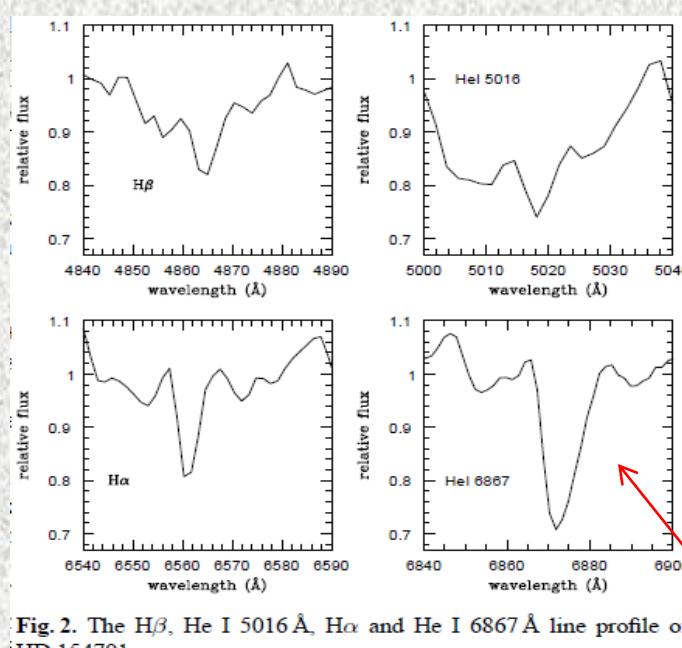
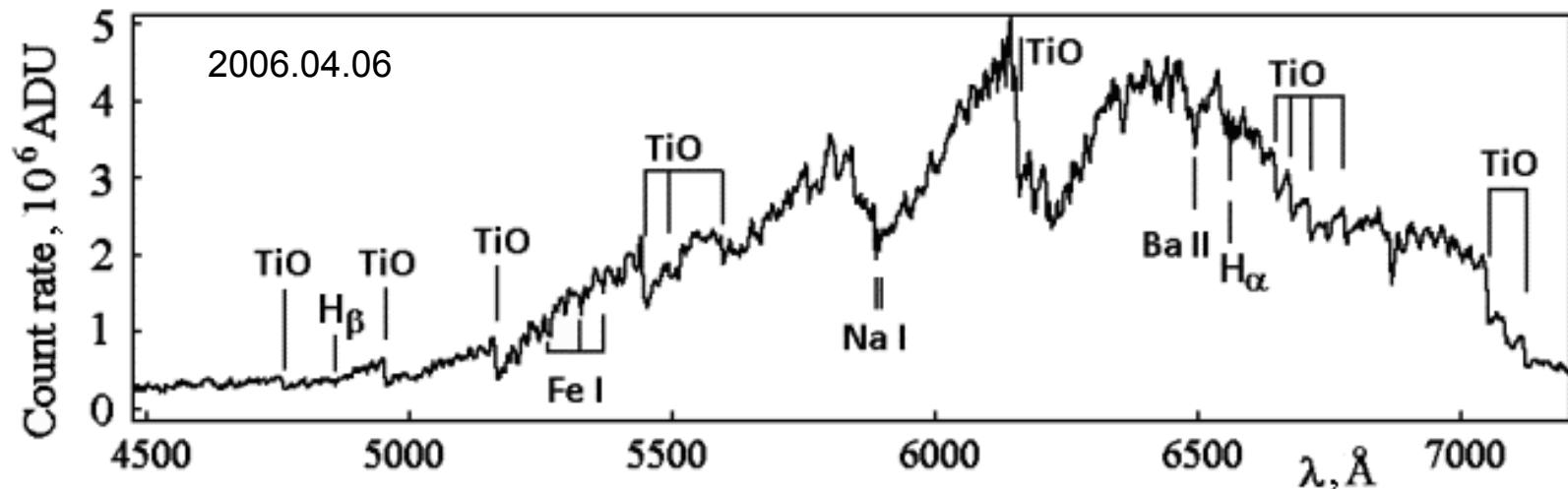


Fig. 2. The $H\beta$, $He I 5016 \text{ \AA}$, $H\alpha$ and $He I 6867 \text{ \AA}$ line profile of HD 154791

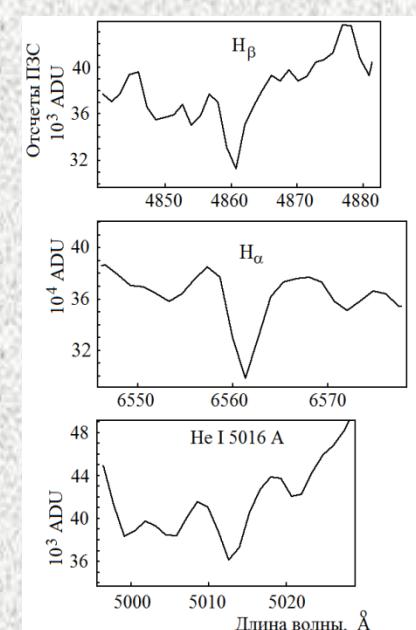
Gaudenzi & Polcaro (1999):
профили с широкой эмиссией и
узким абсорбционным
компонентом.

profiles with wide emission and narrow
absorption not confirmed because such a
profiles are presented in a normal star.

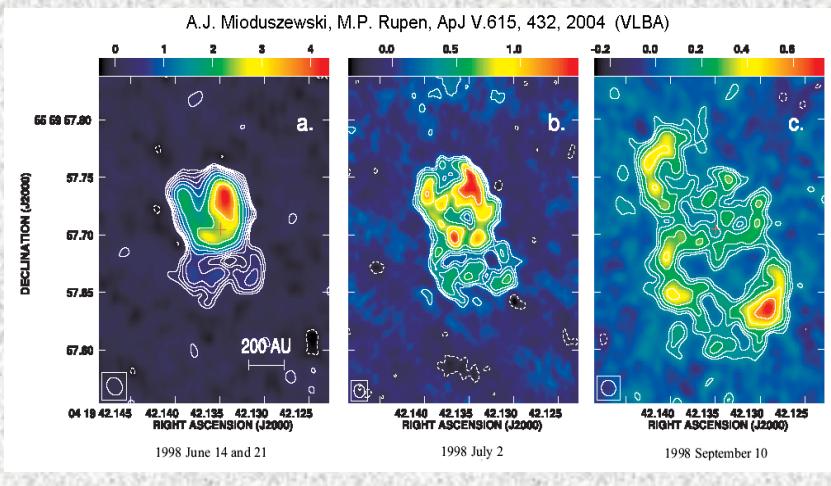
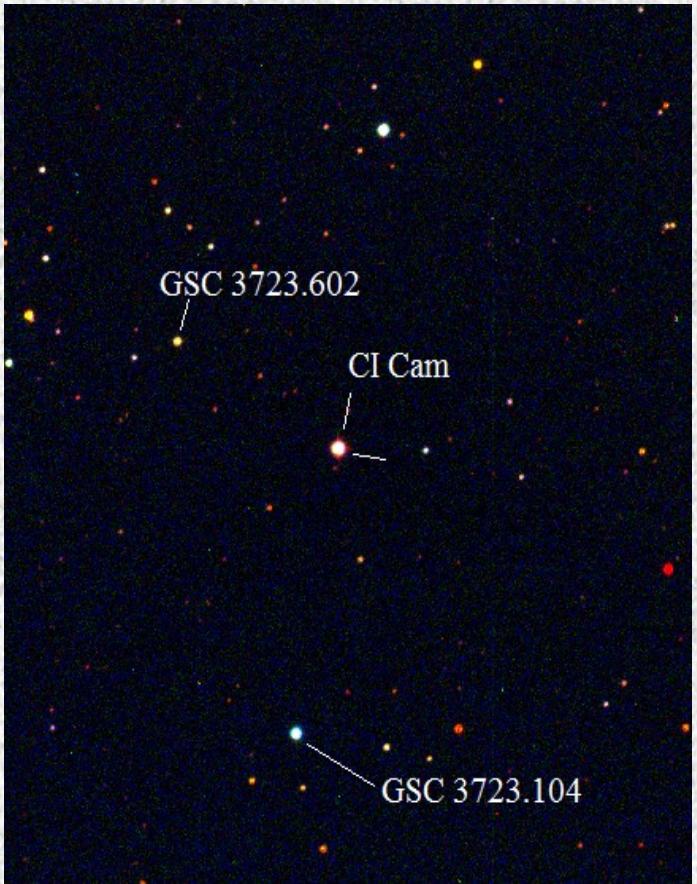
Те же профили в
спектре Цейсс-1000/
УАГС. Такие же
профили у звезды
класса M3 III SAO
63349.

Это теллурическая полоса O_2

This is a telluric band



UAGS line profiles



CI Cam = XTE J0421+560

Звезда типа B4 III-V[e] и белый карлик

B4III-V[e] star + white dwarf

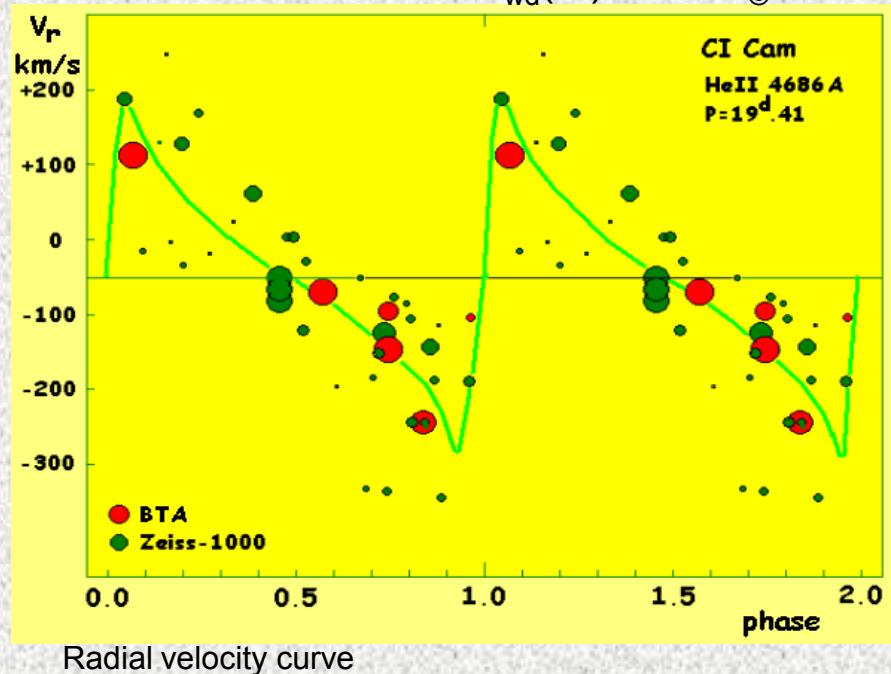
Термоядерный взрыв на поверхности белого карлика в 1998 г.

Thermonuclear explosion on the white dwarf surface in 1998

Определение
элементов орбиты
белого карлика по
эмиссии Hell 4686Å

Orbital elements of the white dwarf were
determined using Hell 4686 emission

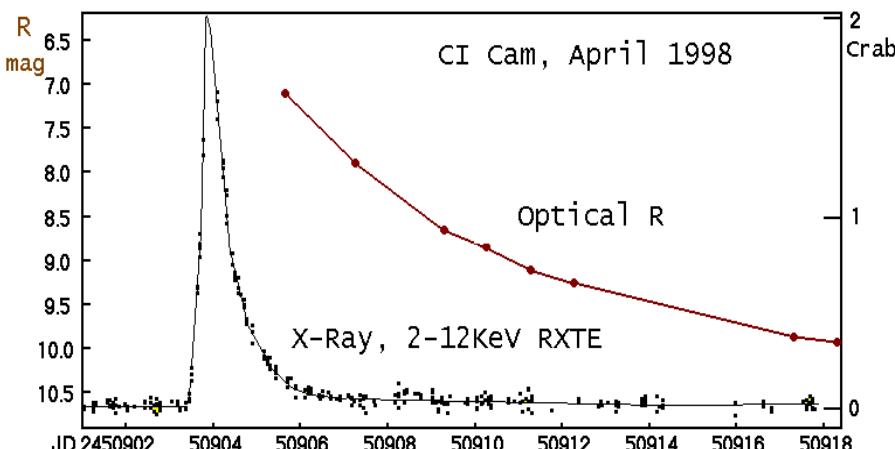
$$\begin{aligned} K_{\text{wd}} &= 230 \text{ km/s} \\ \gamma &= -51 \text{ km/s} \\ e &= 0.62 \\ p &= 19.407 \text{ day} \\ T &= \text{JD } 2452199.0 \\ a \cdot \sin(i) &= 48 \cdot 10^6 \text{ km} \\ F_{\text{wd}}(M) &= 12 M_{\odot} \end{aligned}$$



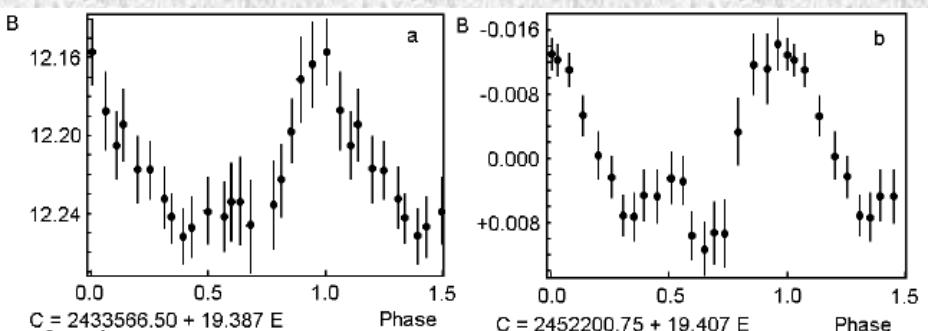
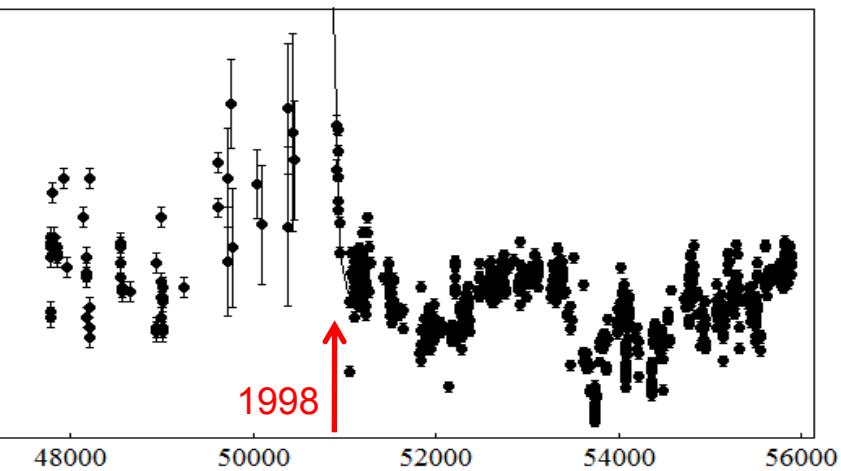
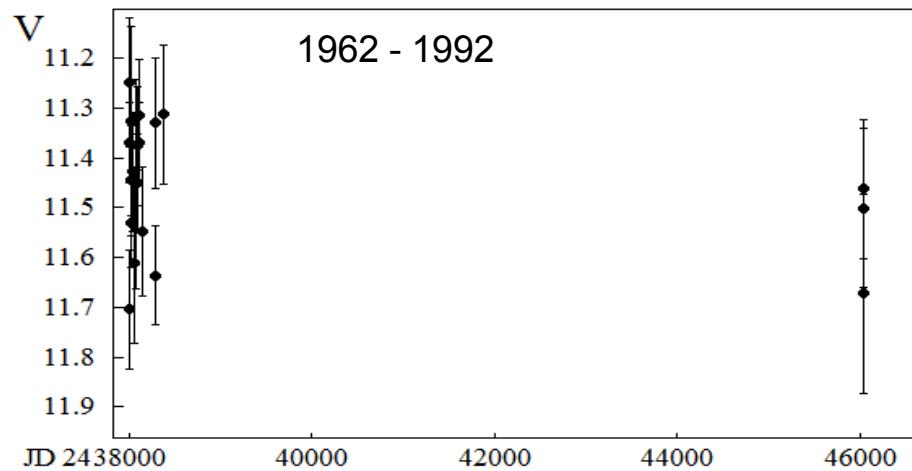
CI Cam:

исторические кривые
блеска и рентгеновского
потока

Historical light and X-ray flux curves

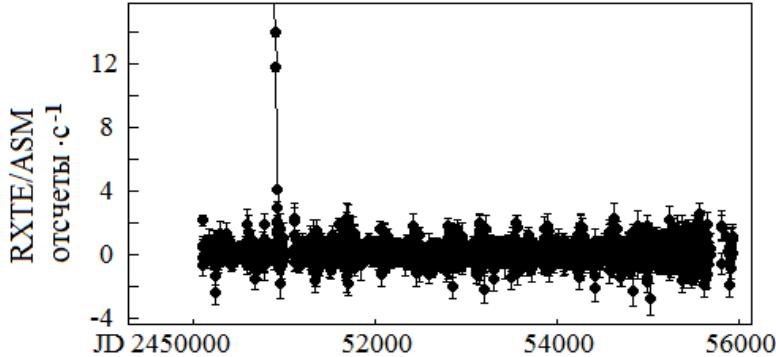


Вспышка в рентгене и оптике



Орбитальный период до и после вспышки 1998 г.

Orbital period before and after the 1998 outburst



CI Cam:

ускорение в ветровых эмиссионных линиях

Acceleration in the wind emission lines

Изменения профиля линии [N II] со временем после вспышки 1998 г. БТА/НЭС.

[N II] line profile changes with time after the 1998 outburst (BTA/NES)

Профили совмещены по центру.

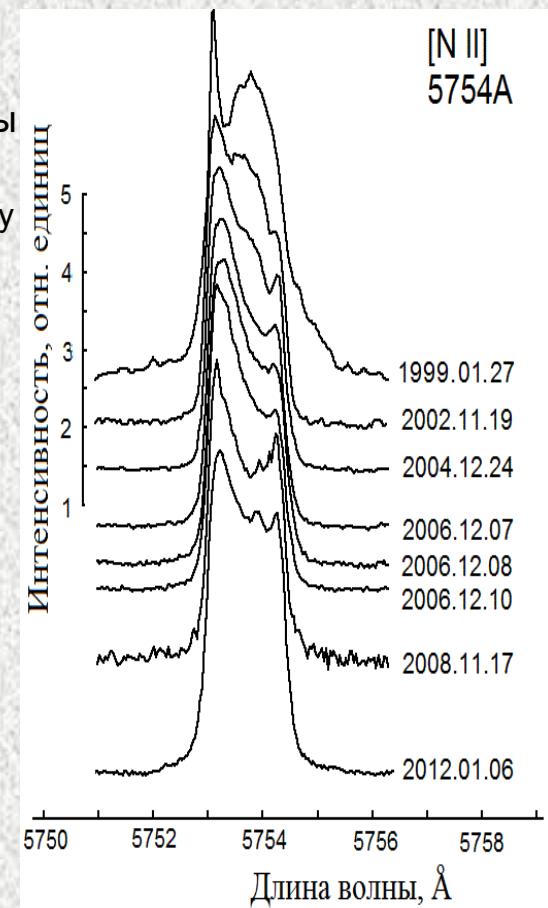
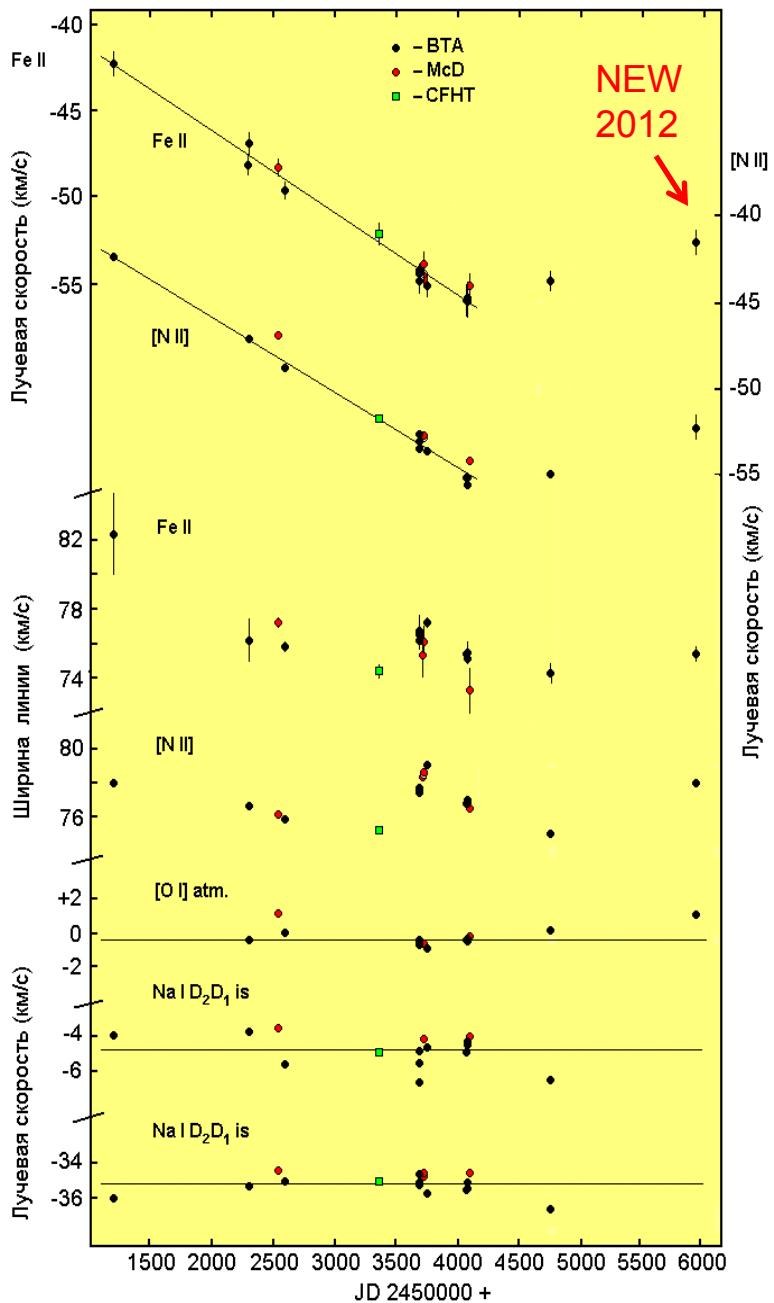
Profiles superimposed by their centers

Сверху вниз:

Лучевые скорости
—эмиссии Fe II;
—эмиссии [N II];

Ширина линии
—эмиссии Fe II;
—эмиссии [N II];

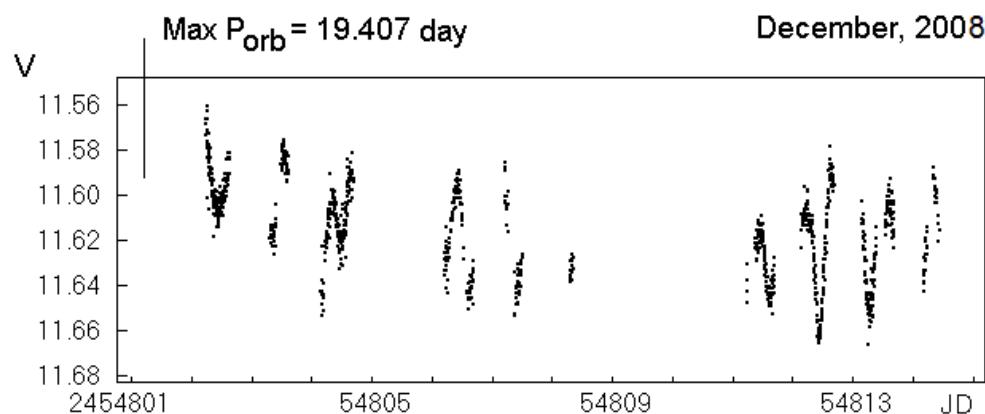
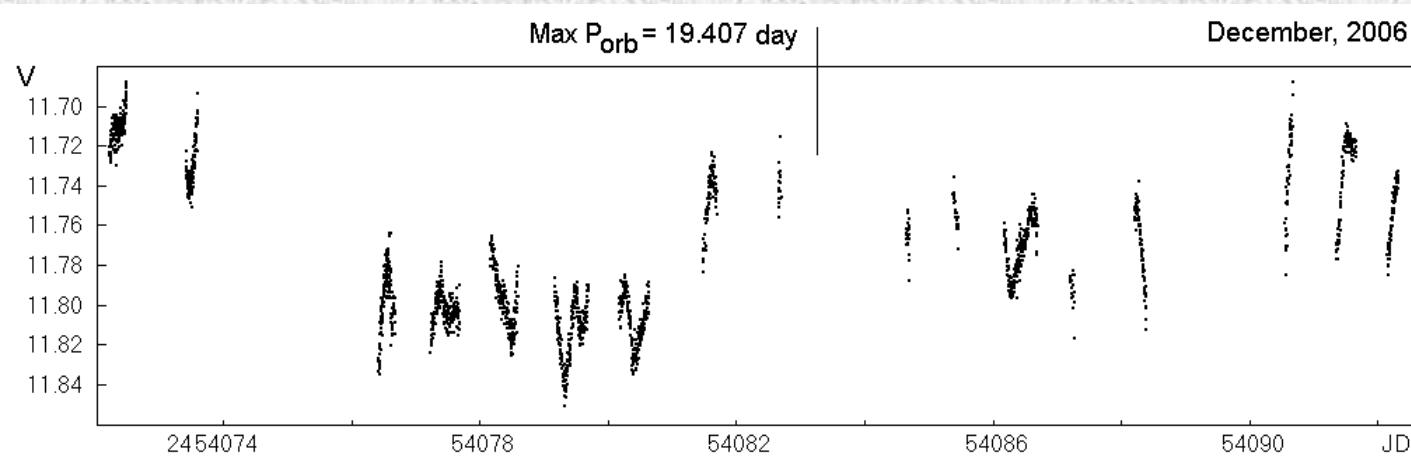
Лучевые скорости
—теплурическая [O I];
—компоненты
межзвездной линии
поглощения натрия



CI Сам:

открытие двухмодных пульсаций B[e]-звезды

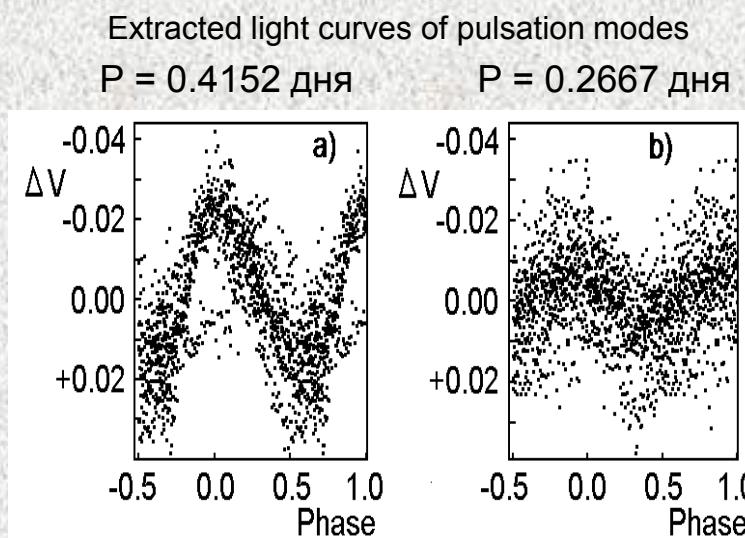
Discovery of double-mode pulsations of B[e] star

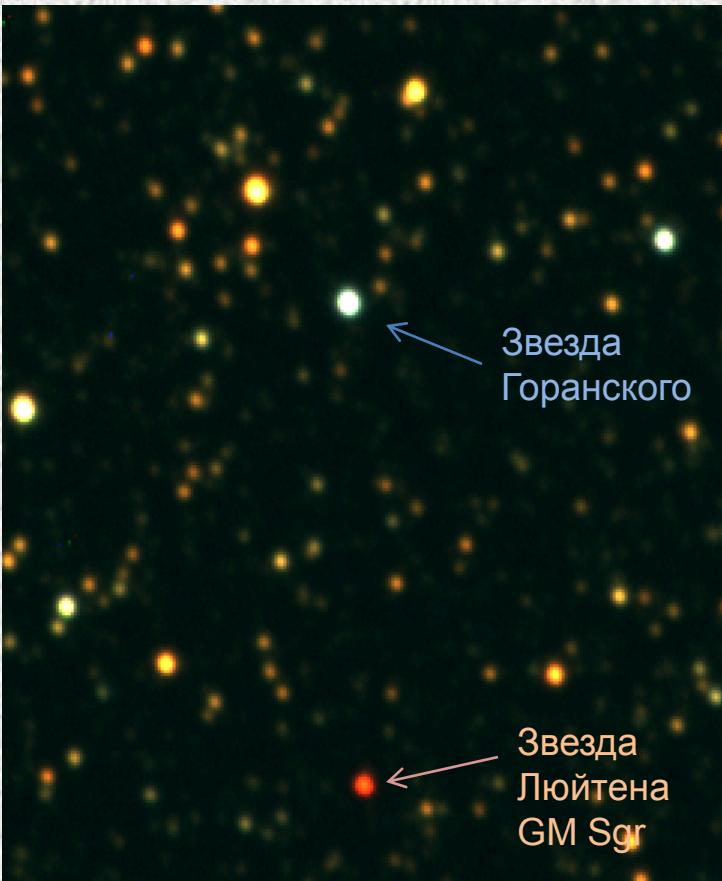


Кривые блеска, полученные в результате мониторинга.

Monitoring light curves

Выделенные кривые блеска пульсационных мод



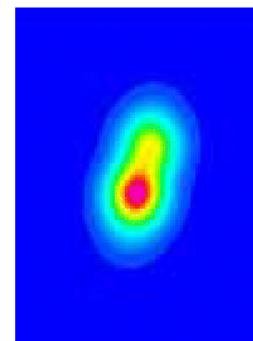


V4641 Sgr (SAX 1819.3-2525)

Звезда типа B9–A0 III с массой $6.5 M_{\odot}$ + черная дыра с массой $9 M_{\odot}$ на орбите с $P = 2.817$ дня

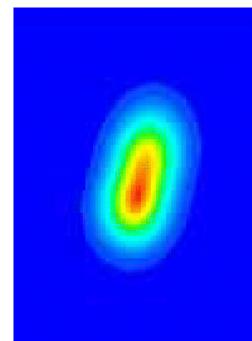
B9-A0 III star + black hole of 9 solar mass on the 2.817-day orbit

Goranskij's star

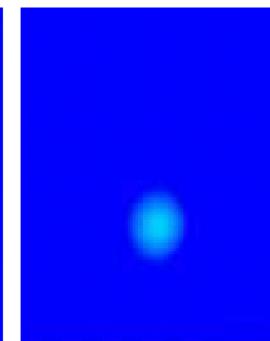


16 сентября 1999 г.

Luyten's star
GM Sgr



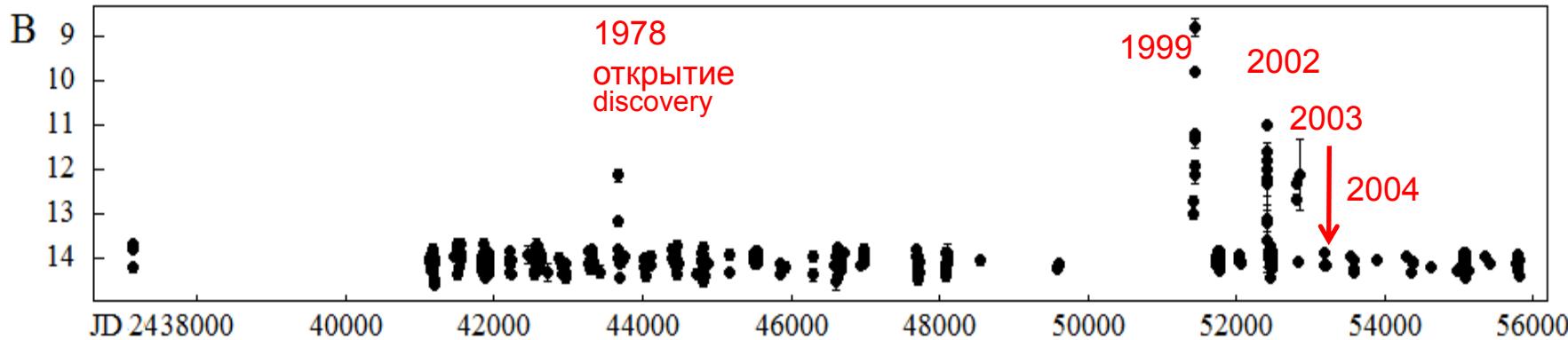
через 30 мин



17 сентября 1999 г.

Радиоинтерферометрия на VLA , R.Hjellming, 1999

VLA radio interferometry

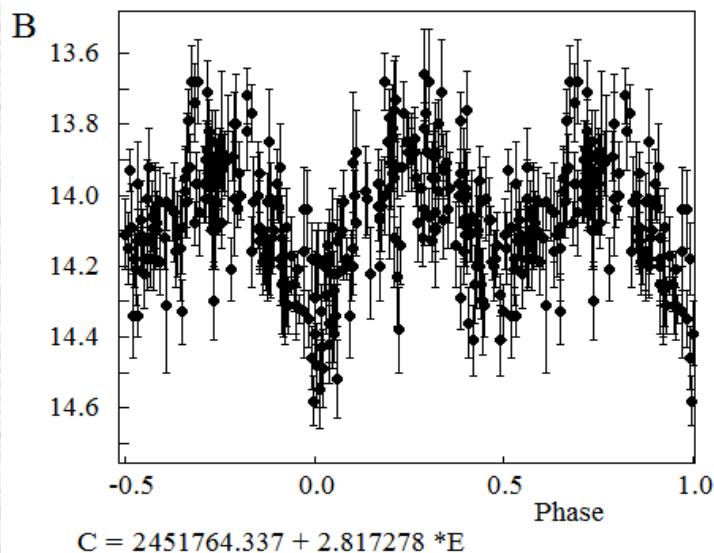


Историческая кривая блеска V4641 Sgr

Historical light curve of V4641 Sgr

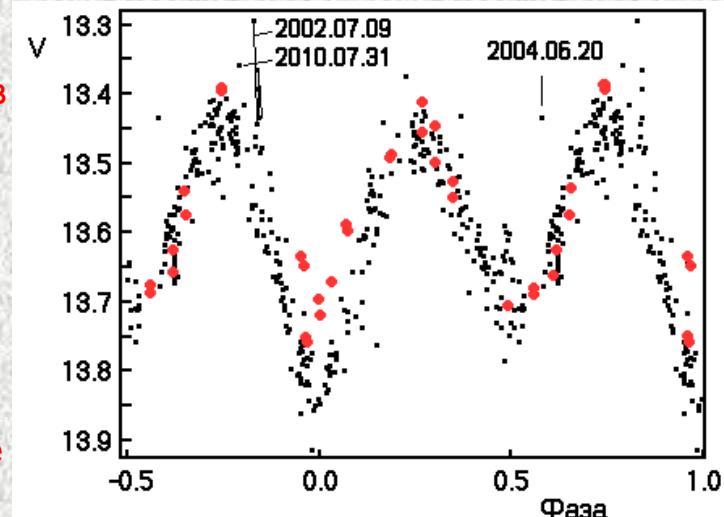
V4641 Sgr: архивная фотографическая и многоцветная ПЗС-фотометрия

Archive photographic and multicolor CCD photometry

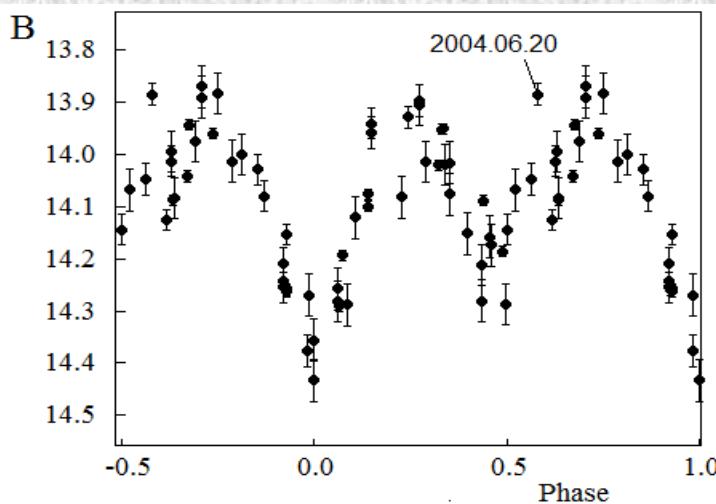


Появление
эффекта
отражения в
мае 2007 г.
(красные
кружки).

СВИФТ
обнаружил
слабое
переменное
рентгенов-
ское
излучение.

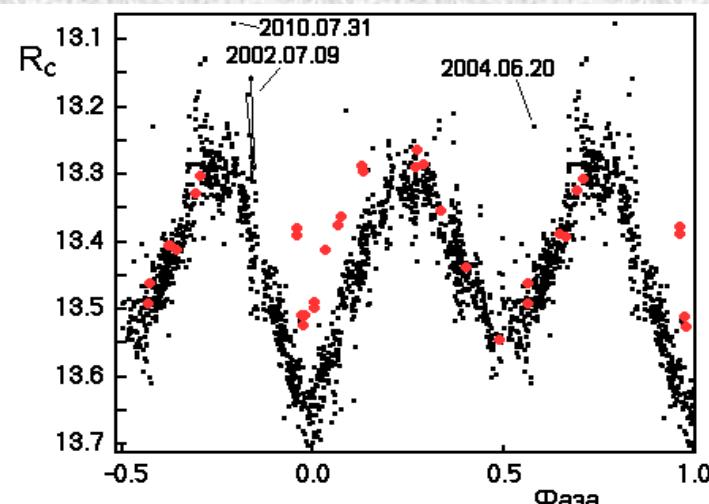


Optical splashes detected



Appearance of
reflection effect
in may 2007
(red circles)

SWIFT
detected weak
and variable X-
ray radiation.



ПЗС-фотометрия в лучах V и R.
Всплески оптического излучения.

ПЗС-фотометрия в лучах B.

V4641 Sgr: спектроскопия

Spectroscopy

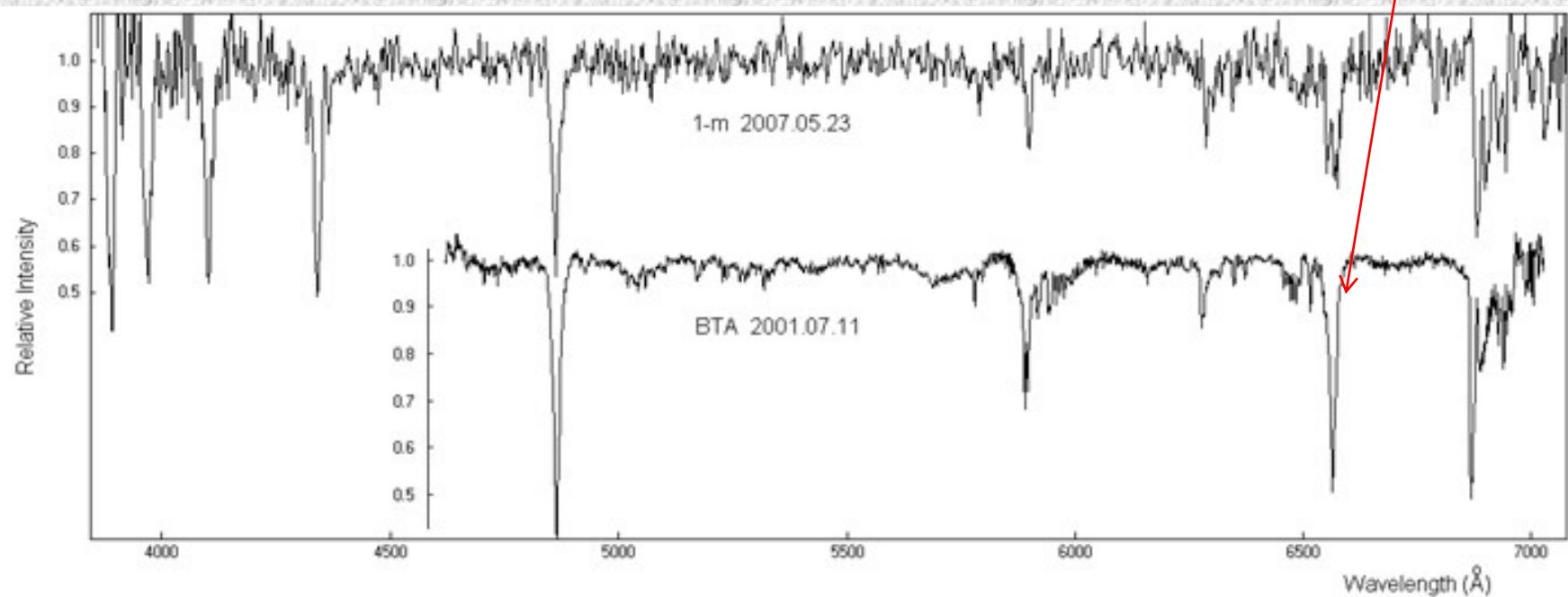
Вверху спектр, полученный на Цейссе-1000 с УАГС в фазе активности с эффектом отражения.

Абсорбционная линия Н-альфа залита эмиссией.

Absorption H-alpha line is filled with emission.

Внизу спектр БТА/УАГС в неактивном состоянии в нижнем соединении черной дыры. В профиле Н-альфа видно поглощение газового потока около черной дыры.

The absorption component of a gas stream near the black hole was seen in H-alpha profile in the inferior conjunction



Профили эмиссии Н-альфа
V4641 Sgr в спокойном
состоянии в элонгации (вверху) в
нижнем соединении черной
дыры, и контрольной звезды.

Наше исследование показало большое разнообразие свойств и явлений, связанных с наличием компактных компонентов различной природы в массивных рентгеновских системах.

Our research revealed big variety of properties and phenomena connected with presence of different-nature compact components in HMXBs.

Спасибо за внимание

Thanks for your attention