

# **Спектральные и фотометрические исследования рентгеновских транзиентных источников**

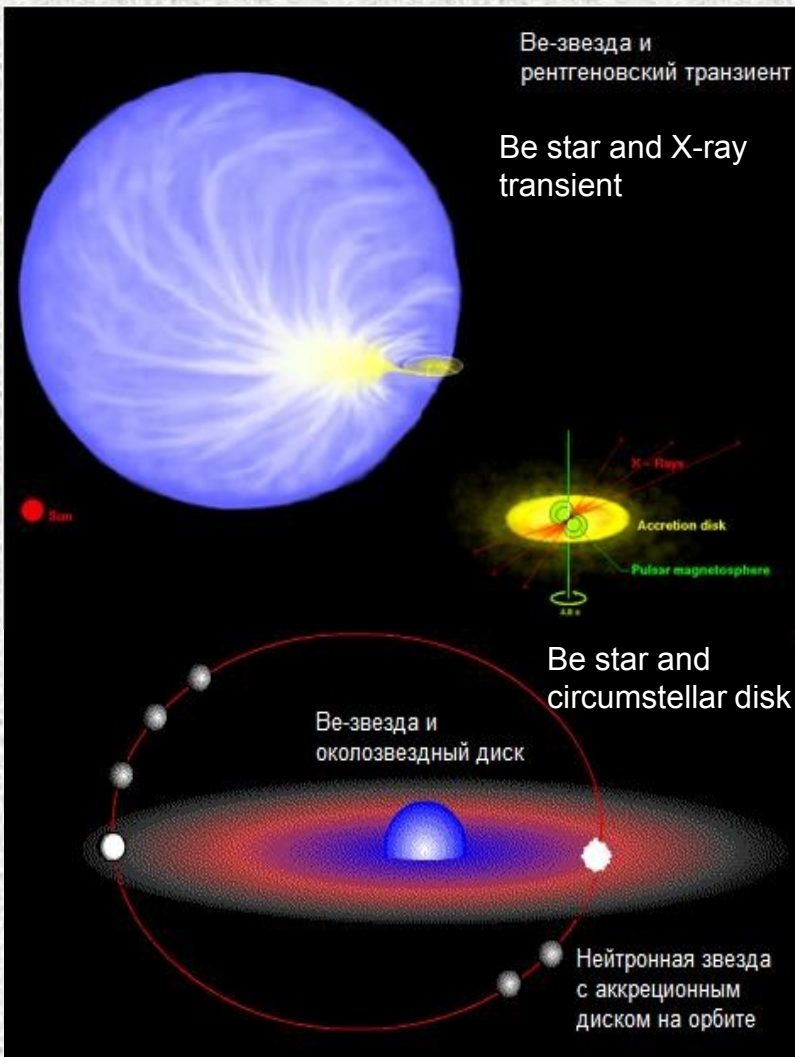
**Барсукова Е.А., Буренков А.Н., Борисов Н.В., Валеев А.Ф.,  
Клочкова В.Г. и Юшкин М.В.  
(САО РАН);  
Горанский В.П. и Метлова Н.В.  
(ГАИШ МГУ и Крымская станция ГАИШ)**

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)

# 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.**

Neutron star with an accretion disk on the orbit

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.



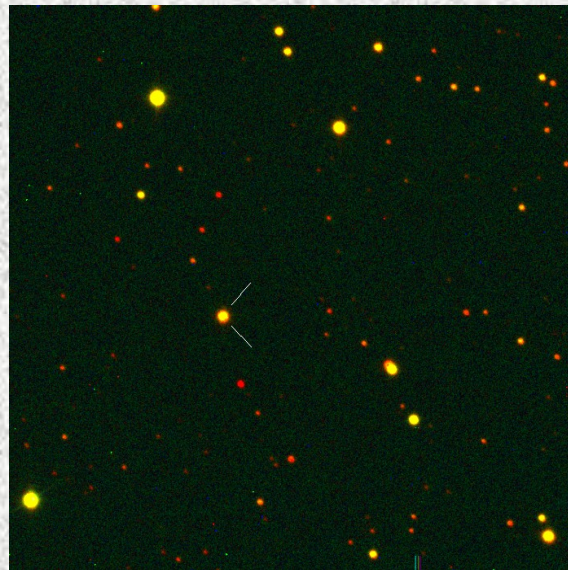


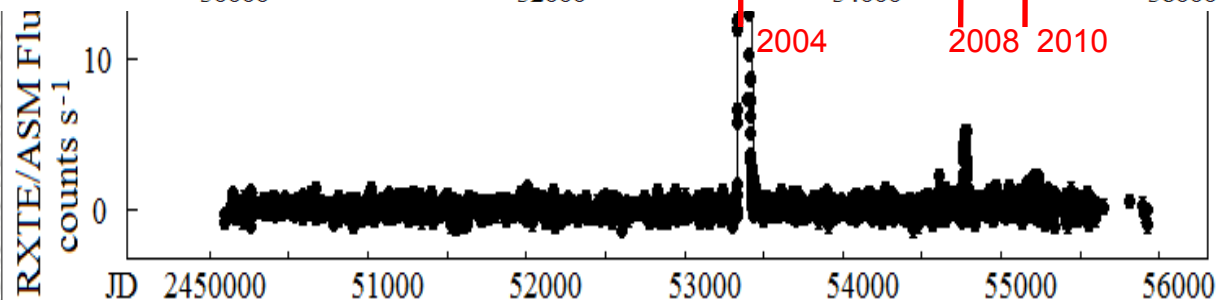
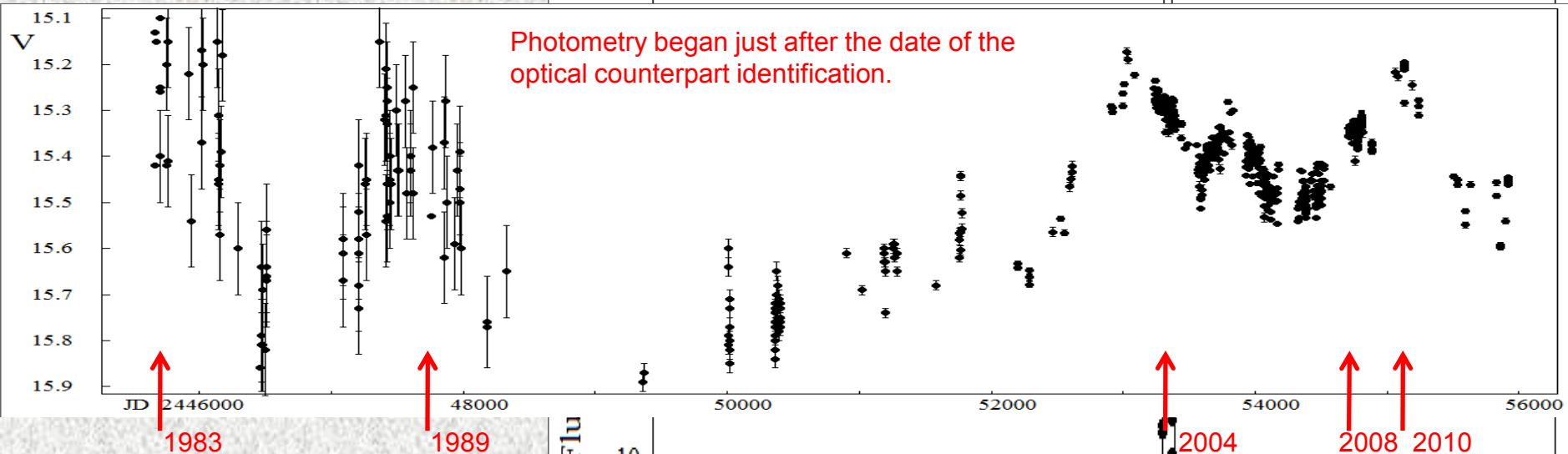
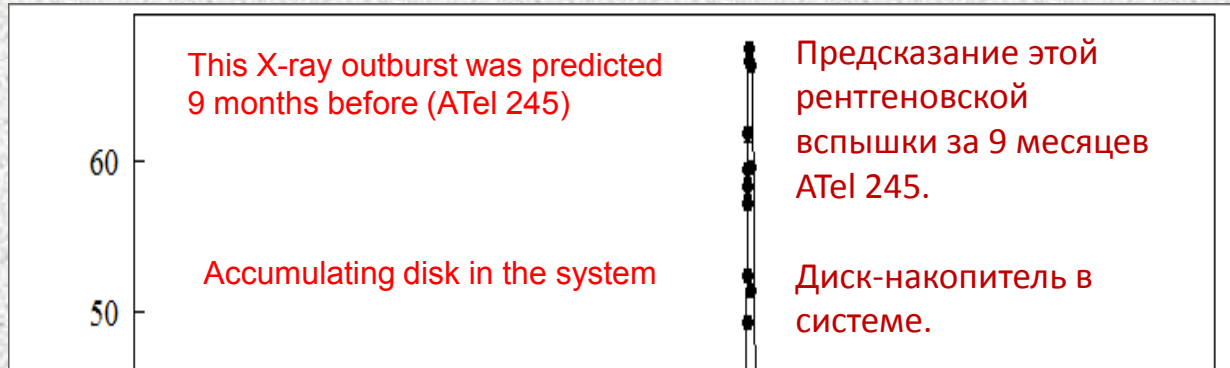
Фото Цейсс-1000

**BQ Cam = V0332 +53**

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

Звезда O8-9Ve + нейтронная звезда, пульсар

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

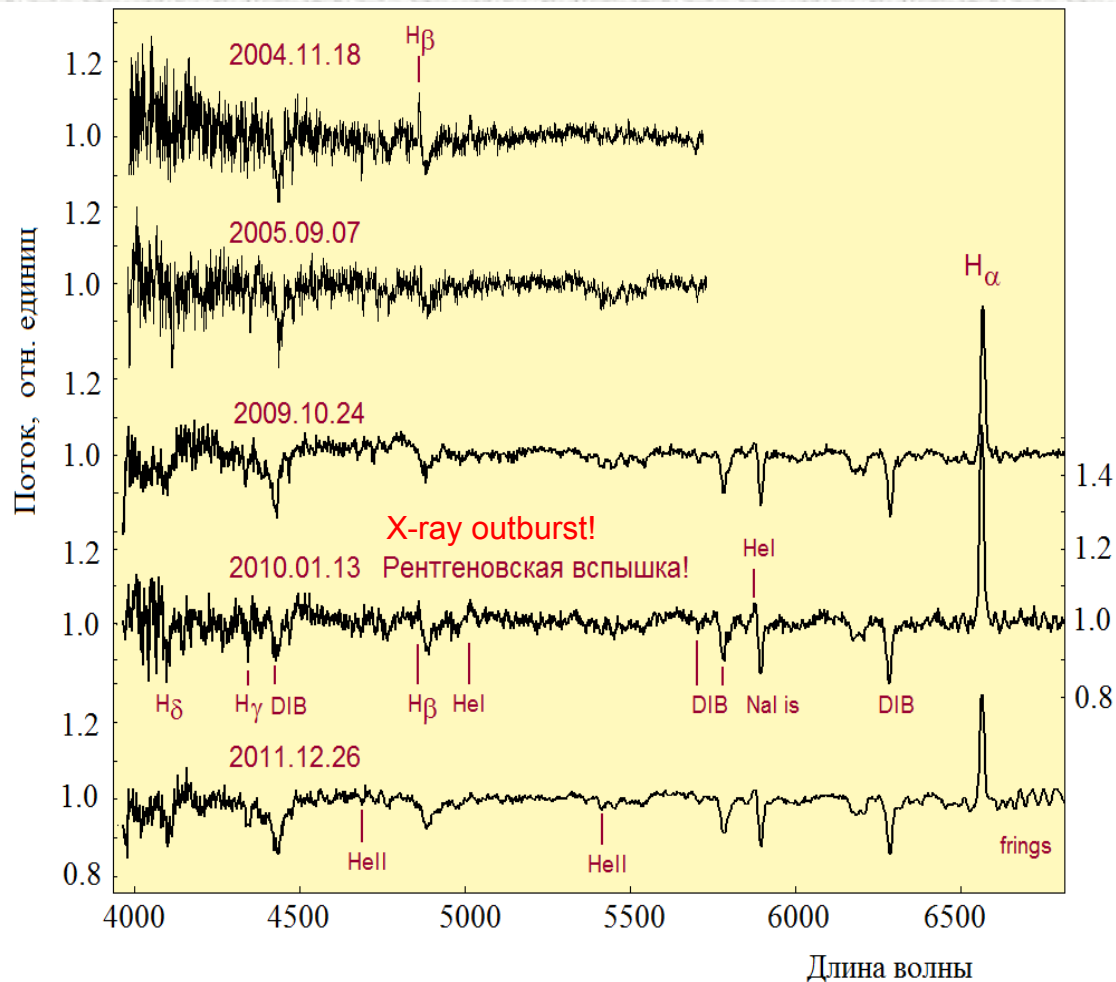
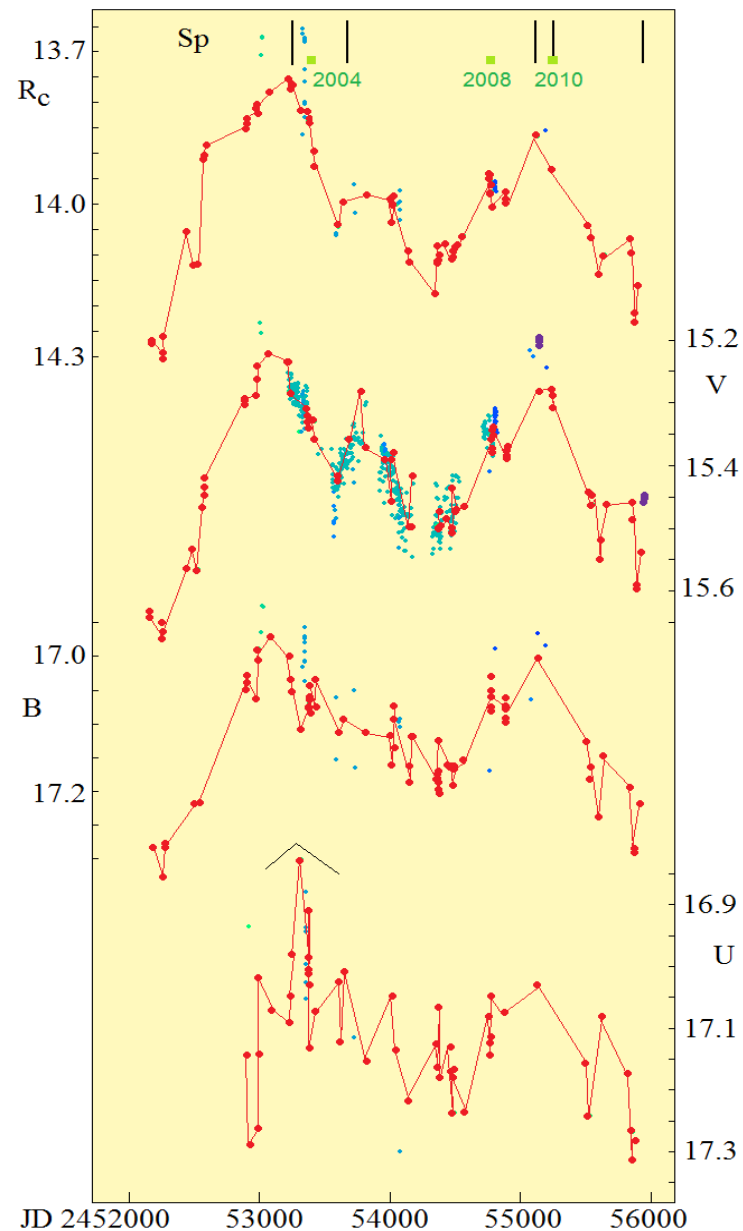


Фотометрические наблюдения всеми средствами с момента отождествления оптического двойника.

# BQ Cam:

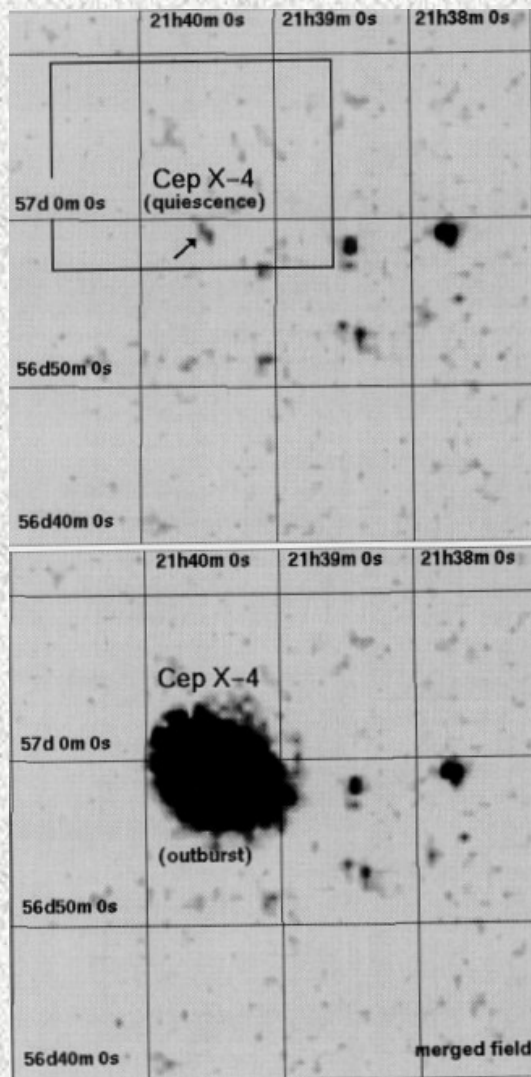
## фотометрия и спектроскопия

Photometry and spectroscopy



Спектры БТА/SCORPIO.

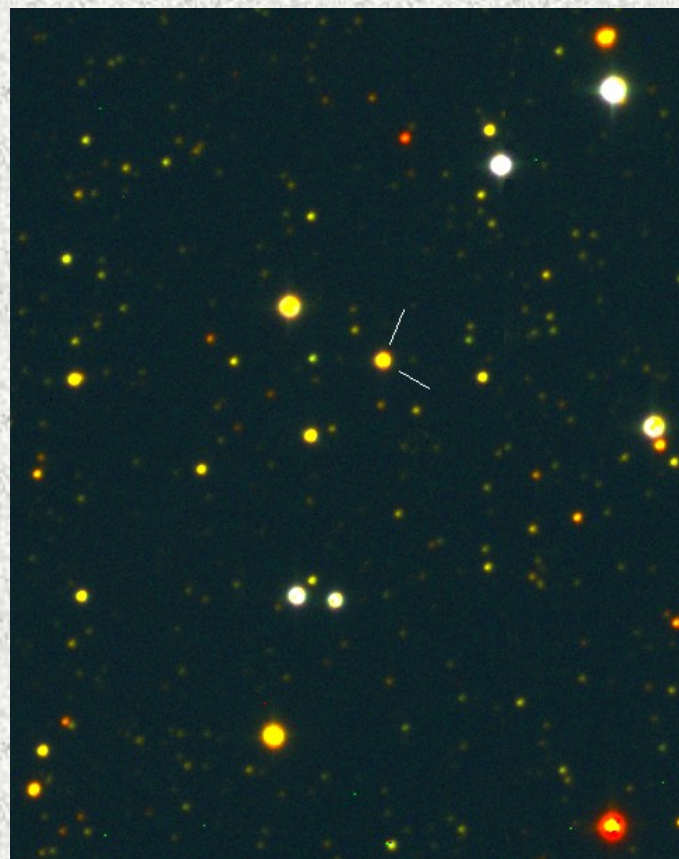
Фотометрия: Цейсс-1000 – красные точки, БТА – фиолетовые точки, ROTSE-III (в фильтре V) – голубые точки, Цейсс-600 (КС ГАИШ) – синие точки.



## V490 Cep = Cep 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



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

V490 Cep в оптическом диапазоне (Цейсс-1000)

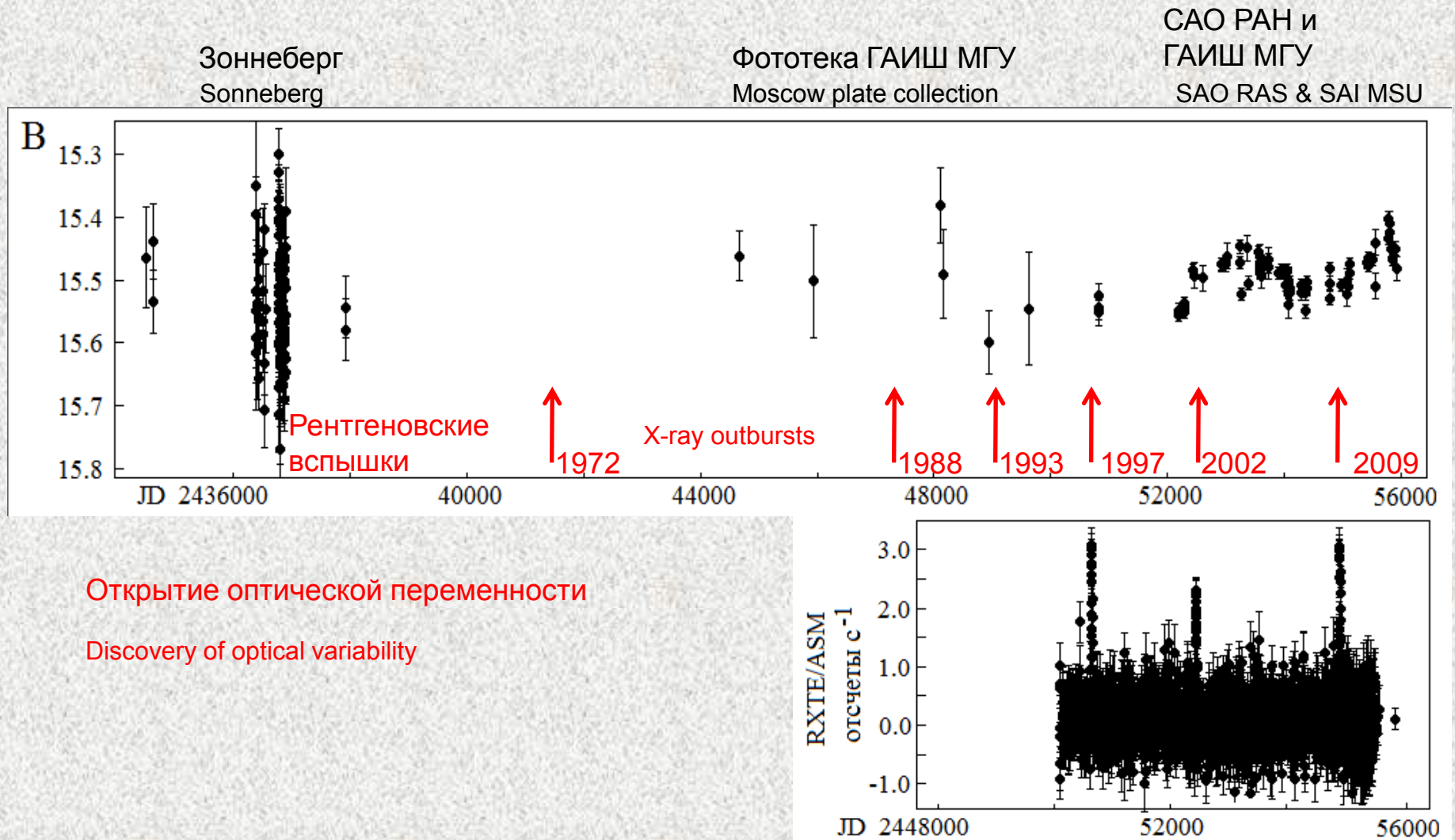
V490 Cep in the optical range (Zeiss-1000)

X-ray images of Cep X-4 in quiescence and outburst



# Сер X-4:

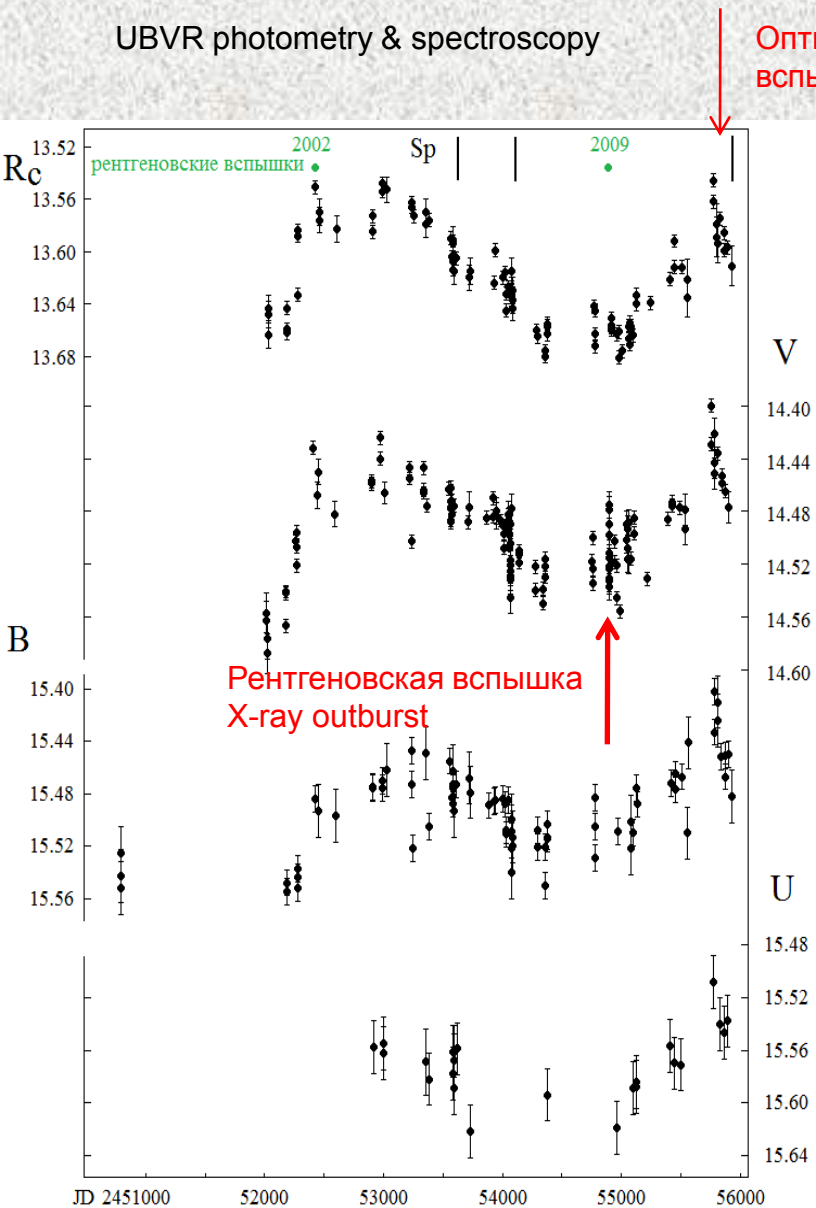
## история исследования в оптике и в рентгене



# V490 Сер:

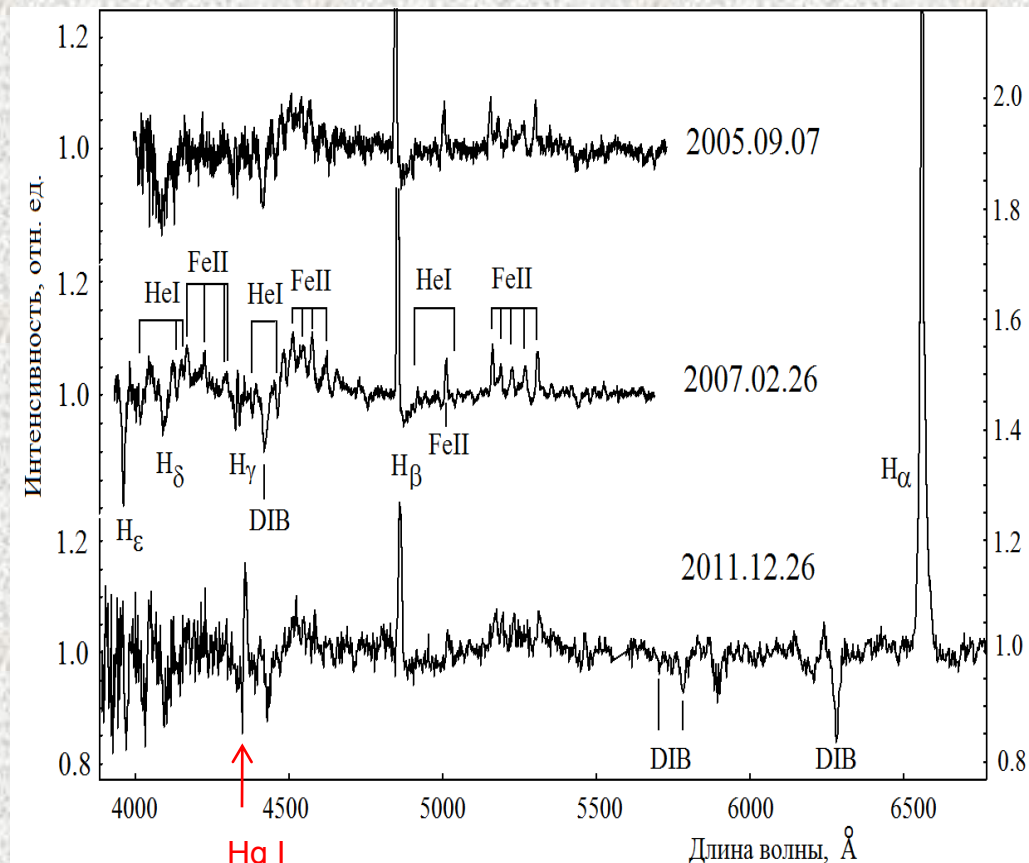
## UBVR фотометрия и спектроскопия

UBVR photometry & spectroscopy



Оптическая  
вспышка

Optical outburst



Световое  
загрязнение  
Light pollution

Спектры БТА/SCORPIO

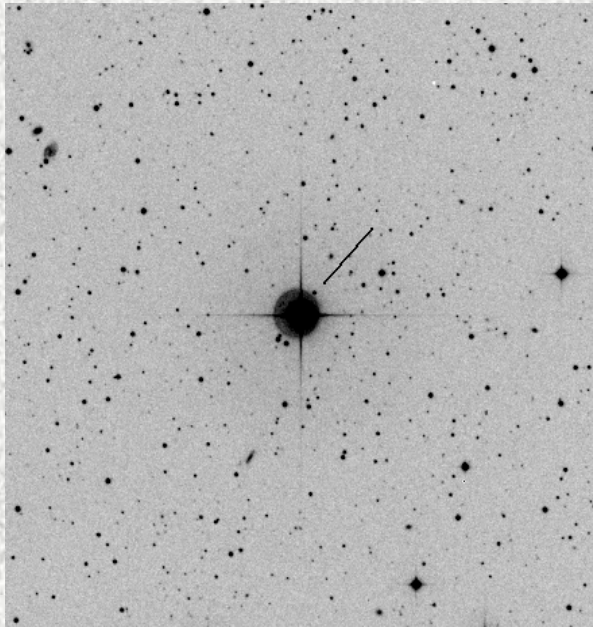
ПЗС-фотометрия получена на телескопе Цейсс-1000 САО РАН и на 60-см телескопе Крымской станции ГАИШ МГУ



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

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

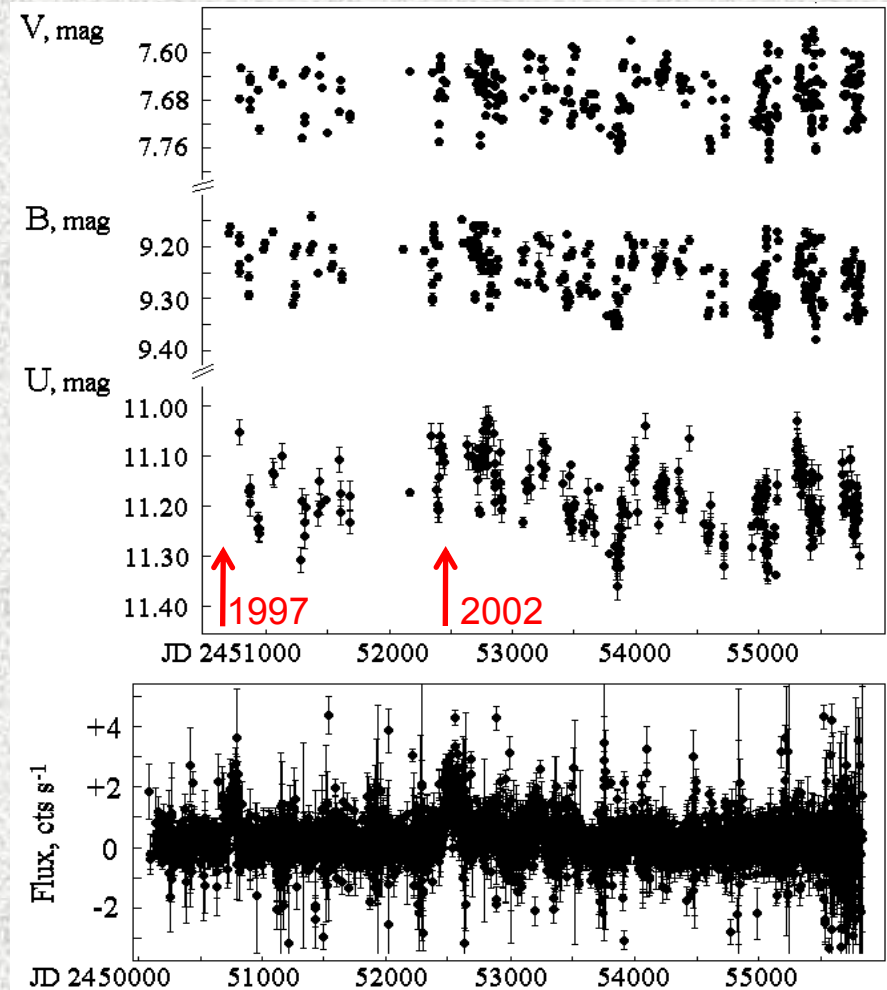
M2 III type red giant + neutron star on the 415-day orbit, detached system. No pulsar present.



Изображение V934 Her в  
оптическом диапазоне DSS, R,  
поле 5 x 5'  
Optical image

UBV light curves & RXTE/ASM flux curve

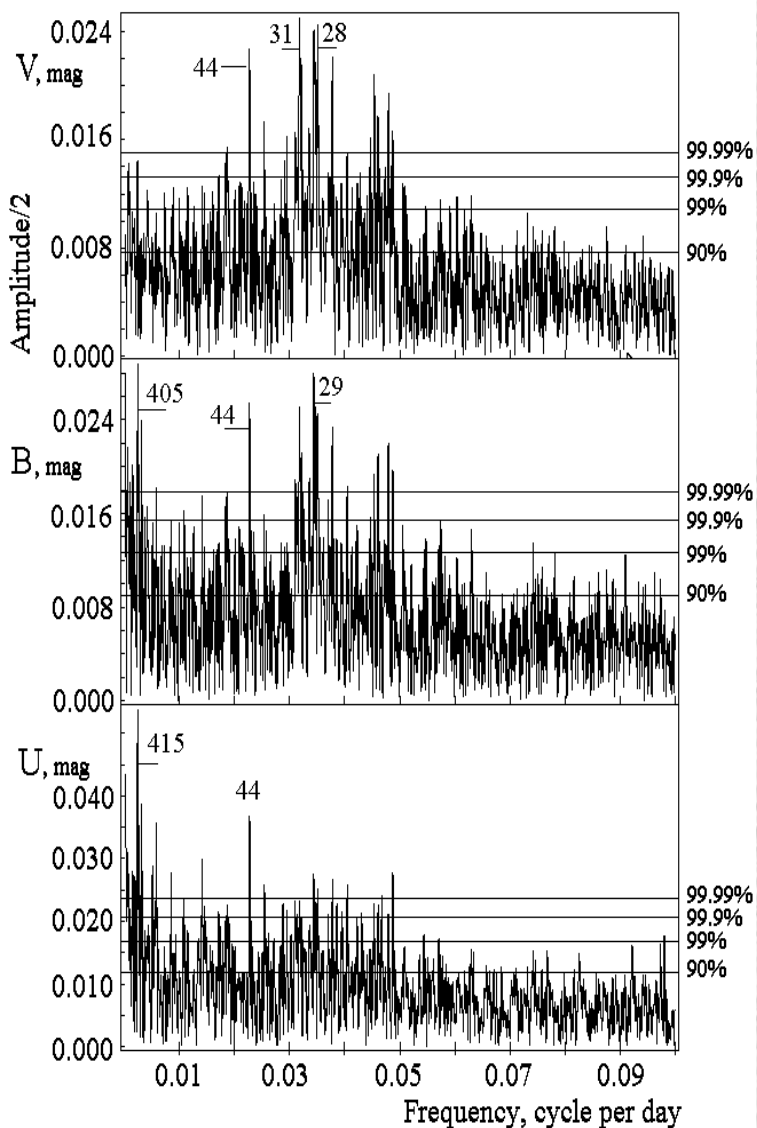
Кривые блеска в полосах  
системы UBV и сравнение  
с кривой рентгеновского  
потока по данным  
RXTE/ASM.



# V934 Her:

## орбитальные изменения блеска и рентгеновского потока

Orbital light and X-ray flux variations



415-day phased  
light and flux  
curves

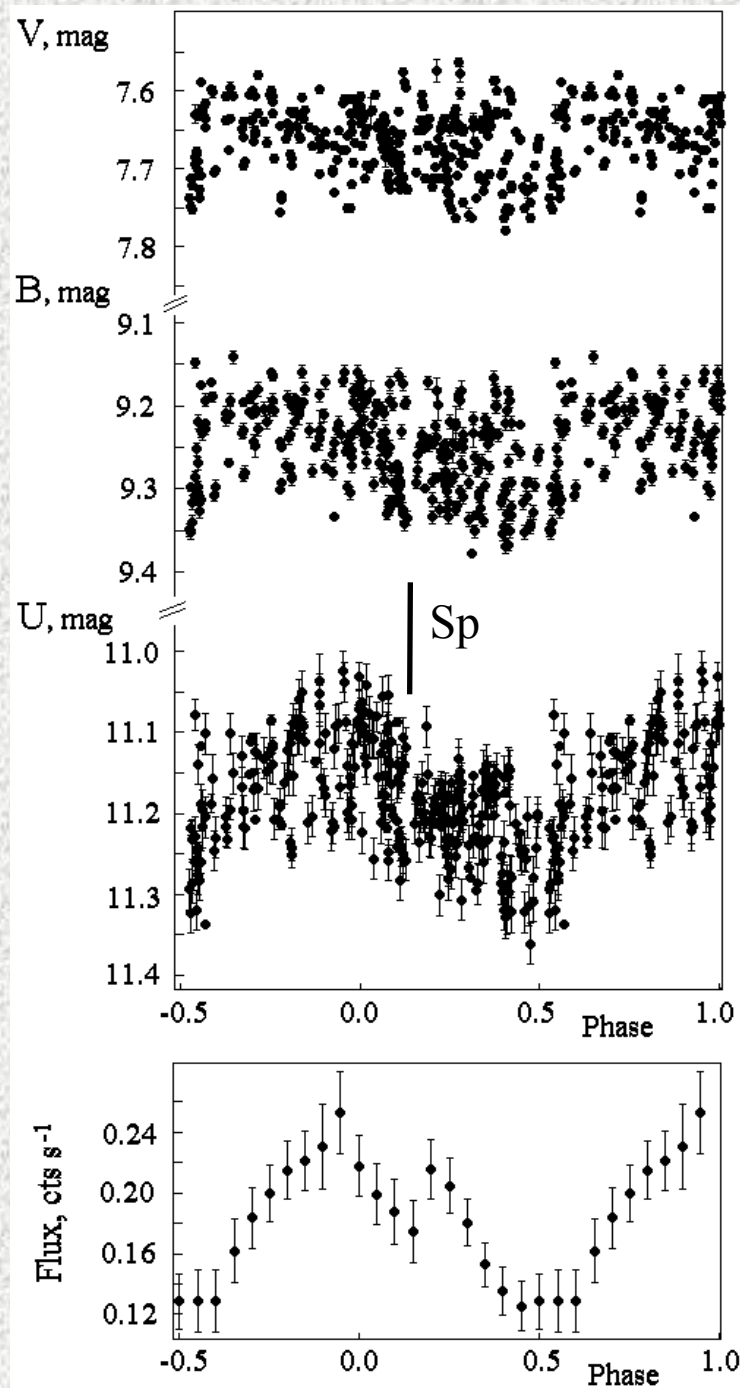
Амплитудные  
спектры

Amplitude  
spectra

RXTE/ASM

Средняя  
кривая

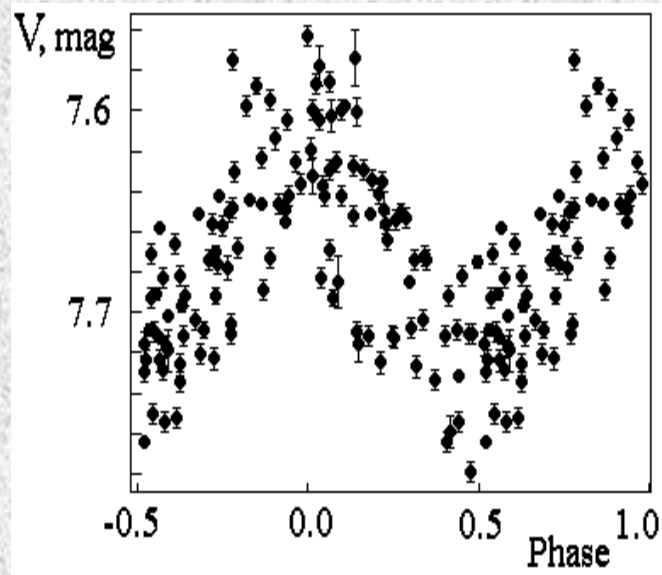
Mean flux curve



# V934 Her:

## мультипериодические пульсации красного гиганта

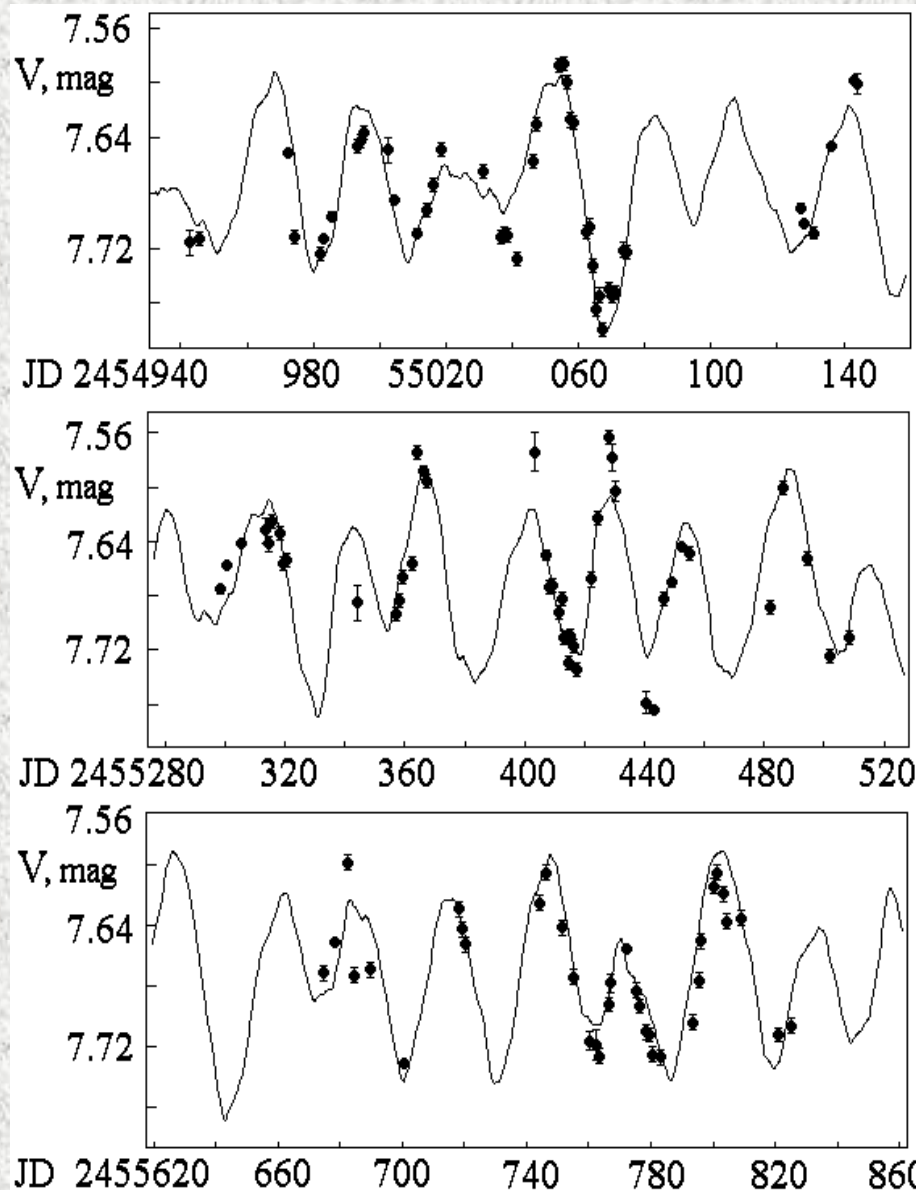
Multi-periodic pulsations of the red giant



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

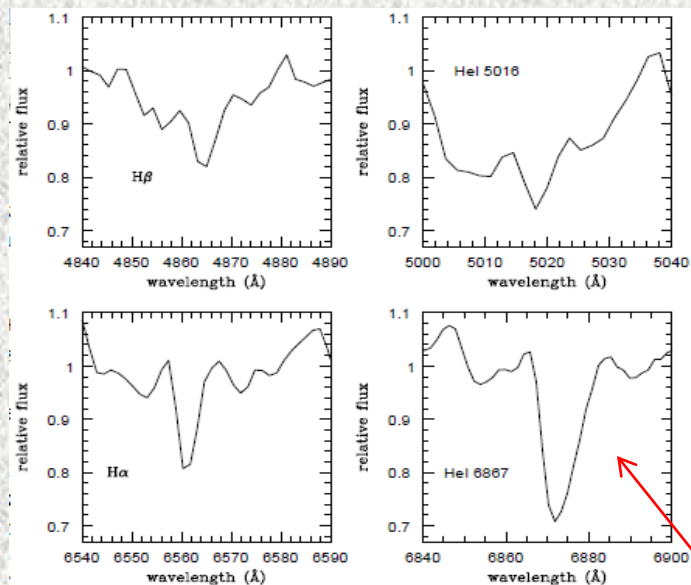
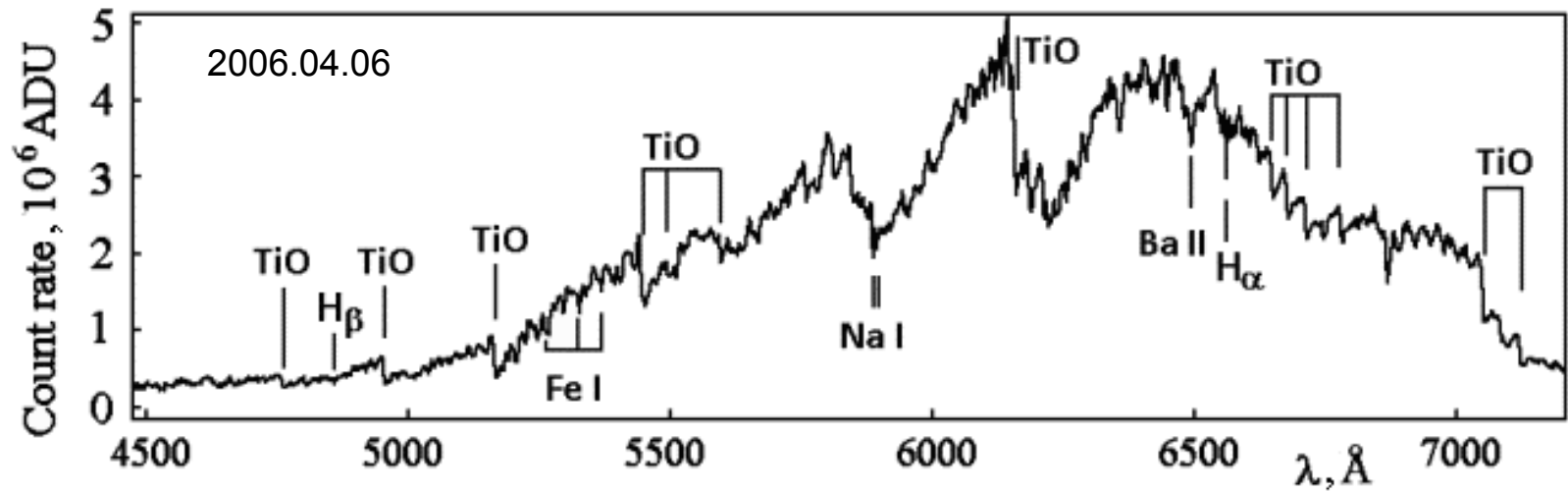


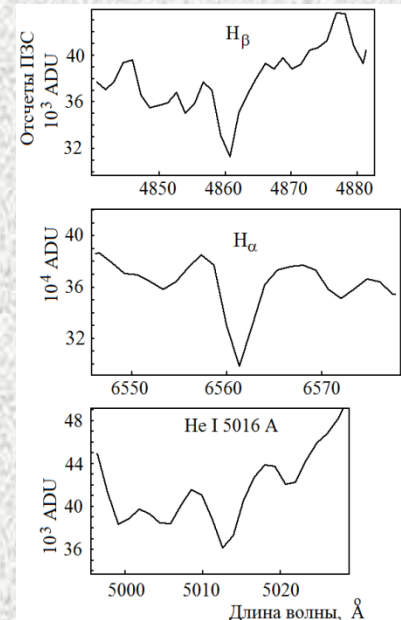
Fig. 2. The  $H\beta$ , He I 5016  $\text{\AA}$ ,  $H\alpha$  and He I 6867  $\text{\AA}$  line profile of HD 154791

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.



UAGS line profiles

Это теллурическая полоса  $O_2$

This is a telluric band

# 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 HeII 4686A

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

$$K_{\text{wd}} = 230 \text{ km/s}$$

$$\gamma = -51 \text{ km/s}$$

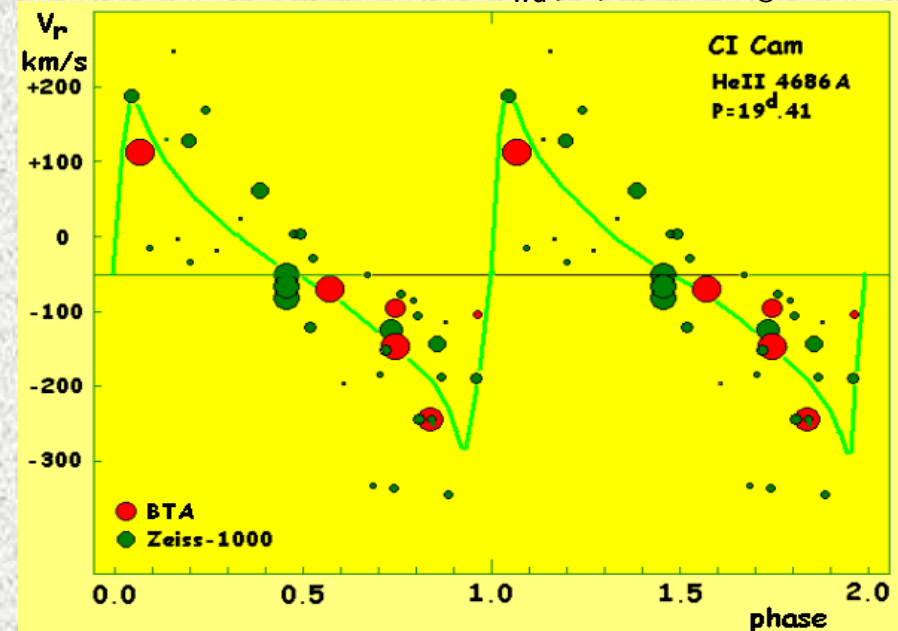
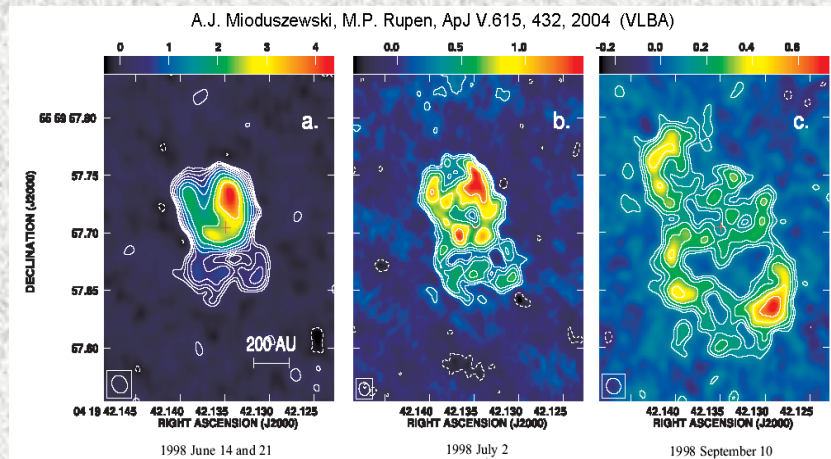
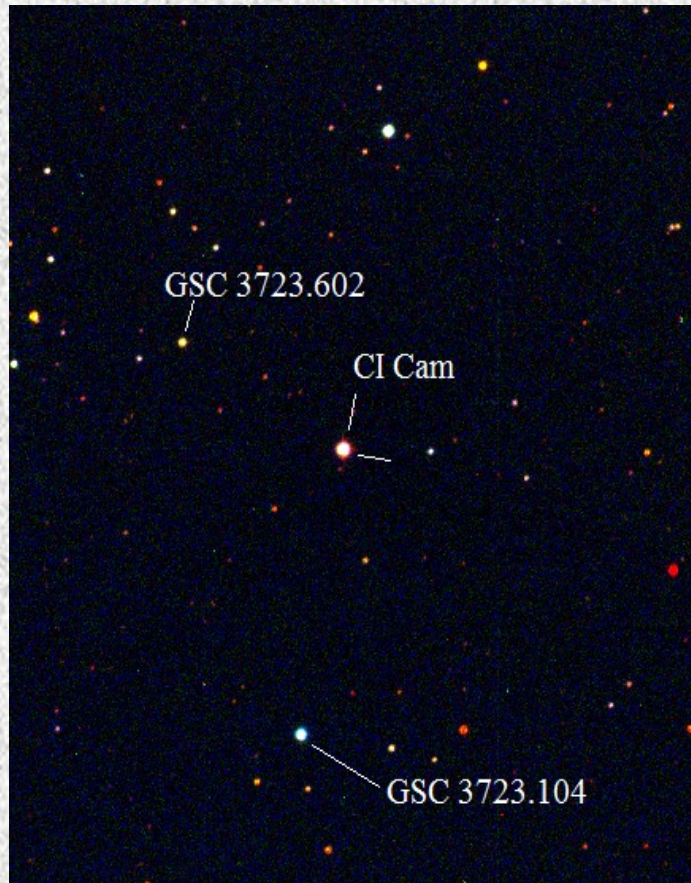
$$e = 0.62$$

$$p = 19.407 \text{ day}$$

$$T = \text{JD } 2452199.0$$

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

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

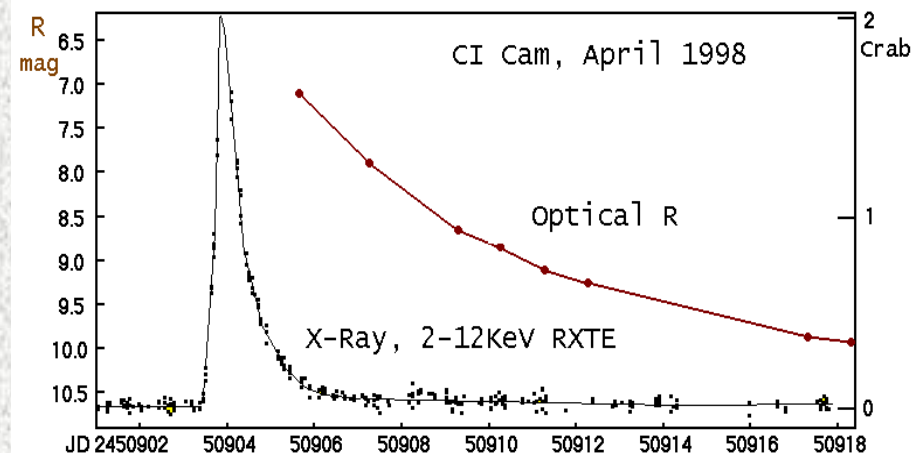


Radial velocity curve

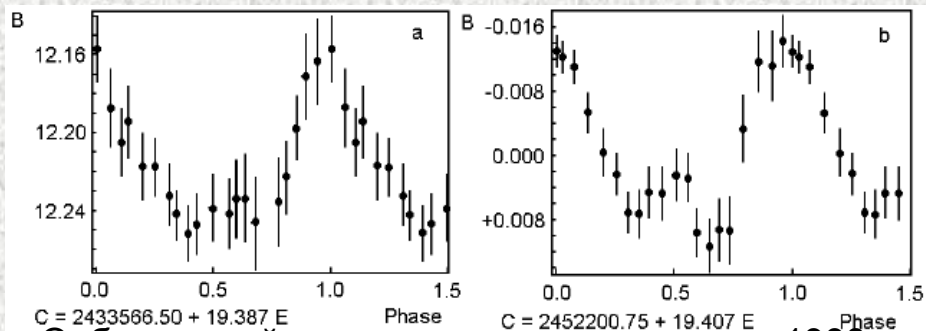
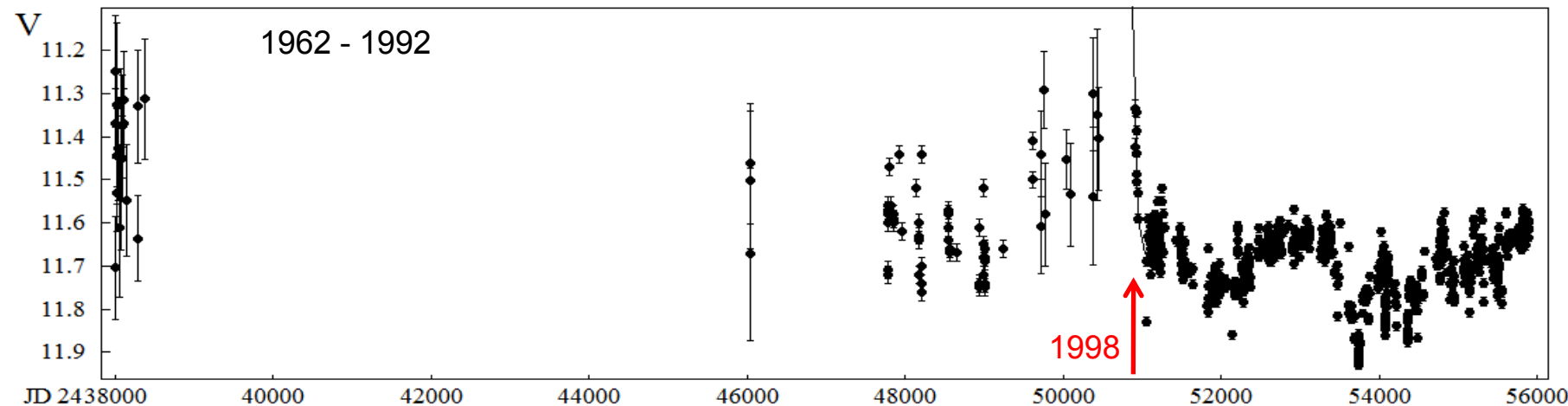
# CI Cam:

## исторические кривые блеска и рентгеновского потока

Historical light and X-ray flux curves

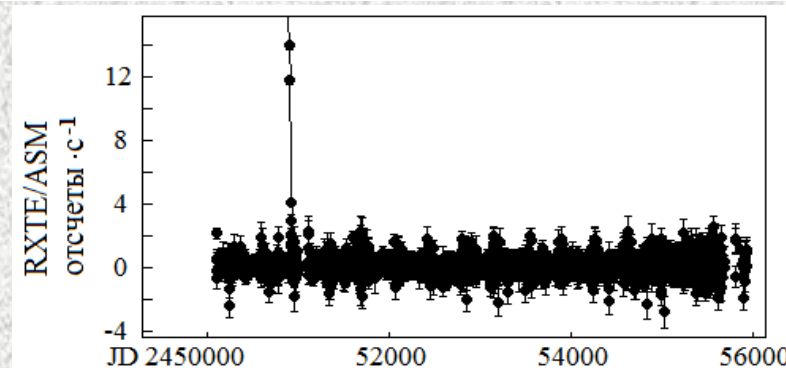


Вспышка в рентгене и оптике



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.

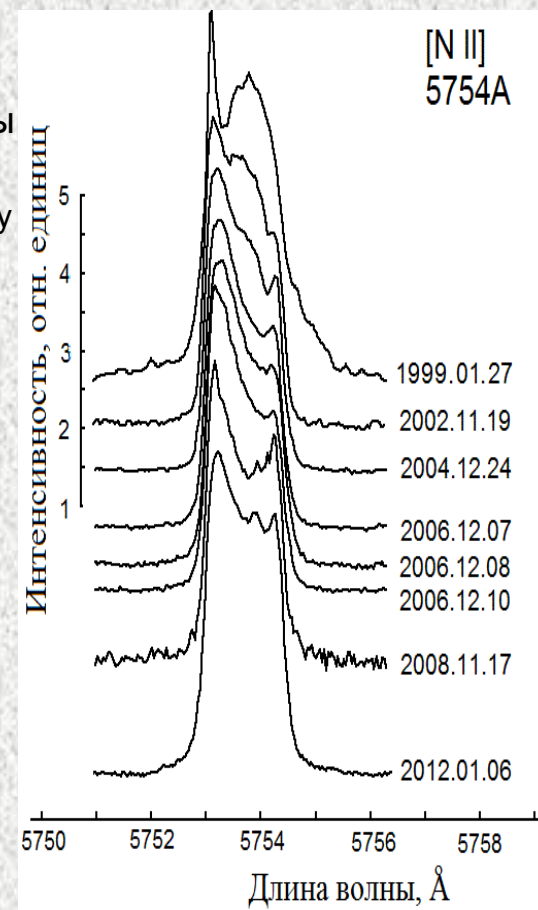
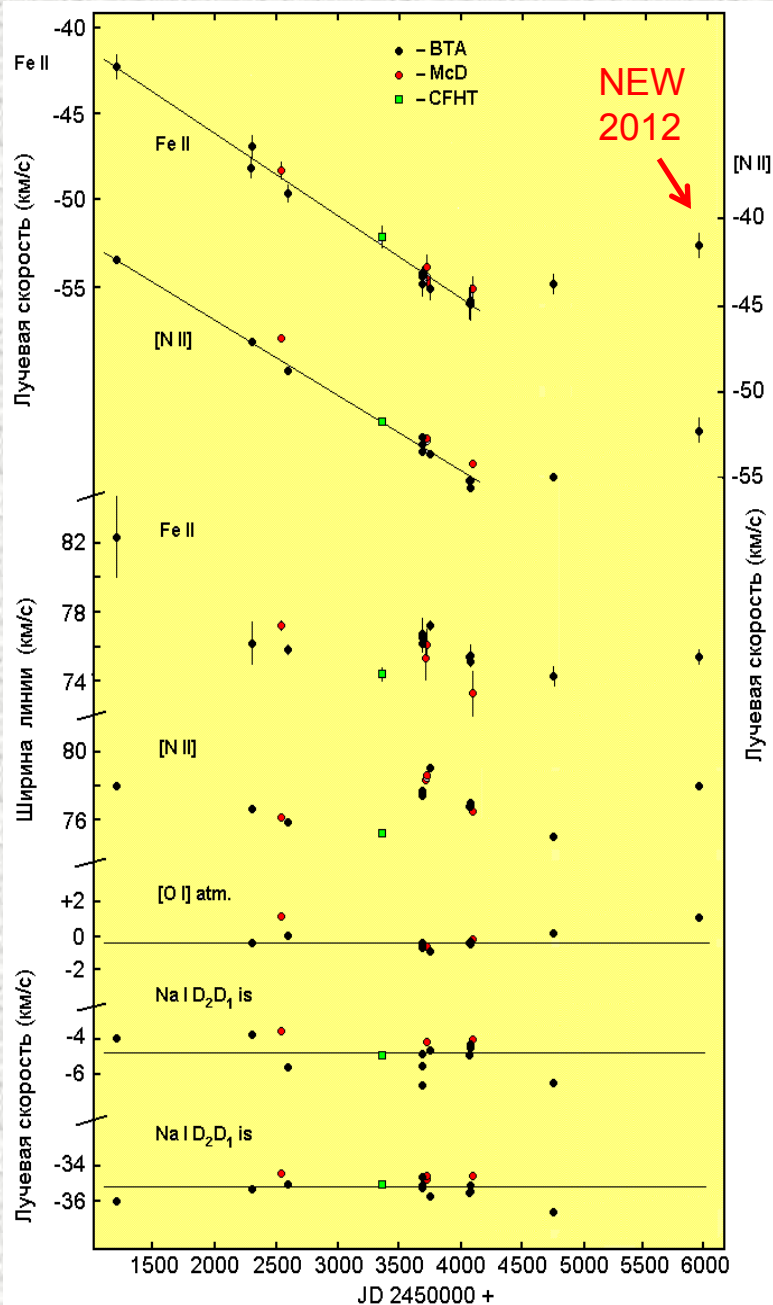
Profiles superimposed by  
their centers

Сверху вниз:

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

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

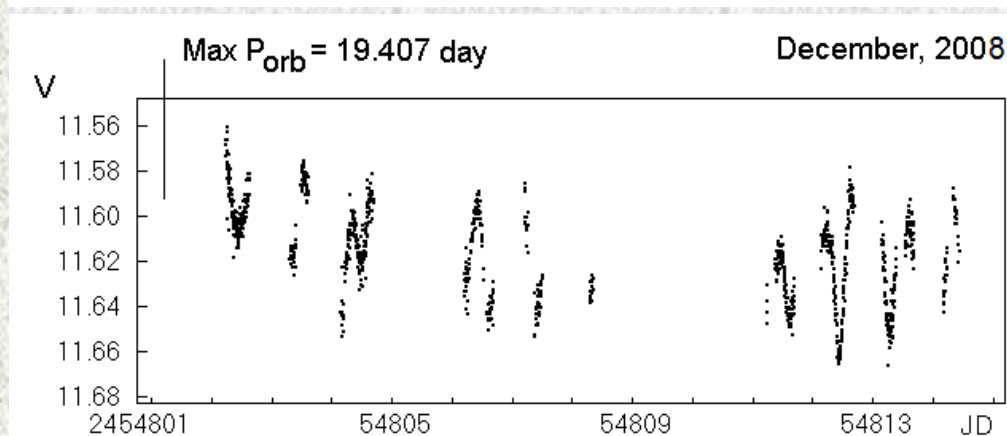
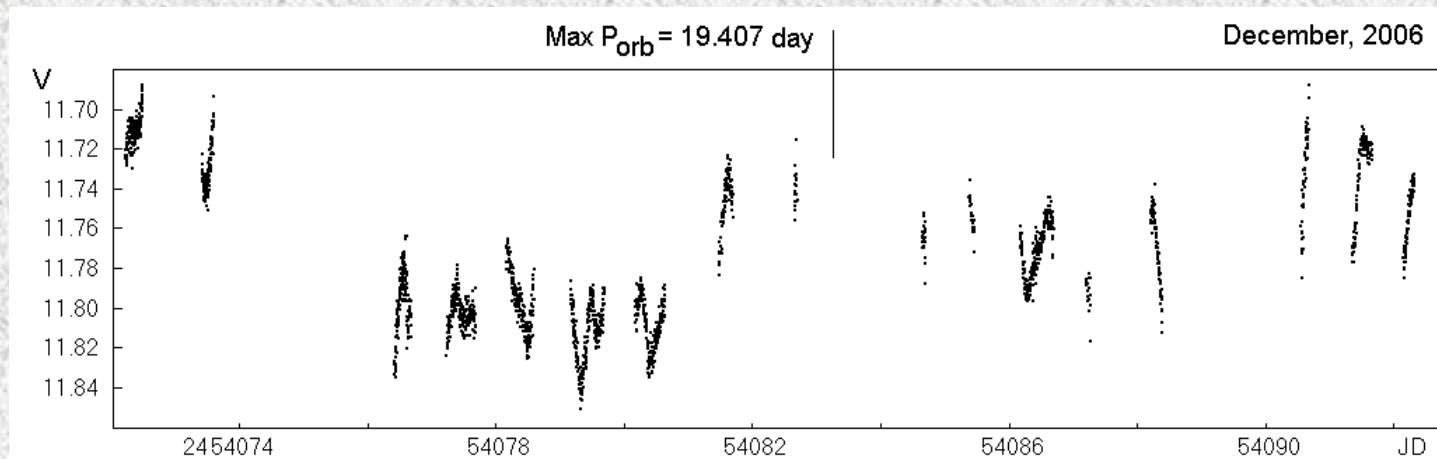
Лучевые скорости  
—теллурическая [O I];  
—компоненты  
межзвездной линии  
поглощения натрия



# CI Cam:

## открытие двухмодных пульсаций B[e]-звезды

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



Кривые блеска, полученные в результате мониторинга.

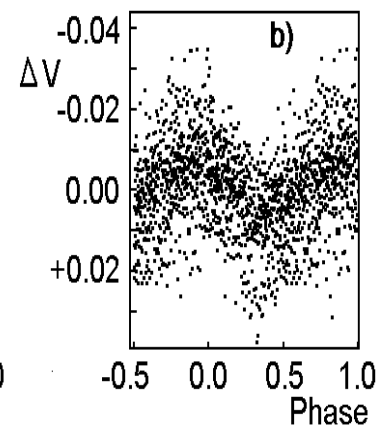
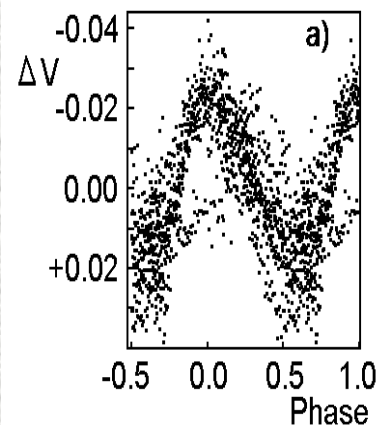
Monitoring light curves

Выделенные кривые блеска пульсационных мод

Extracted light curves of pulsation modes

$P = 0.4152$  дня

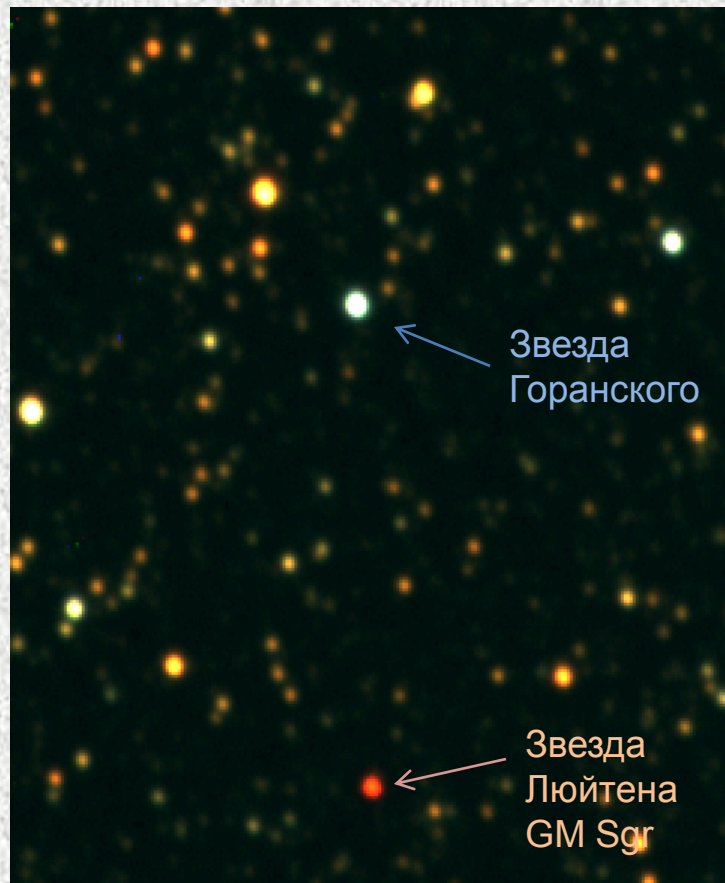
$P = 0.2667$  дня



# V4641 Sgr (SAX 1819.3-2525)

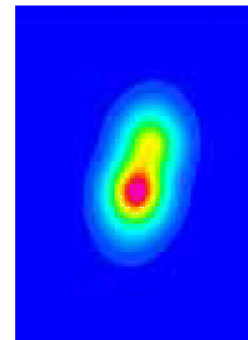
Звезда типа B9–A0 III с массой  $6.5 M_{\odot}$  + черная дыра с массой  $9 M_{\odot}$  на орбите с  $P = 2.817$  дня

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

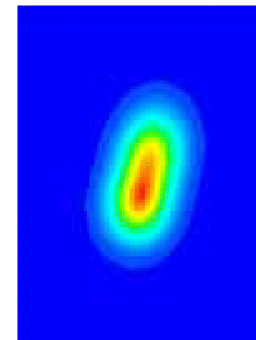


Goranskij's star

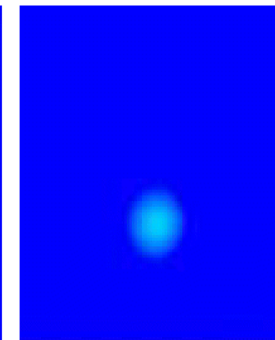
Luyten's star  
GM Sgr



16 сентября 1999 г.



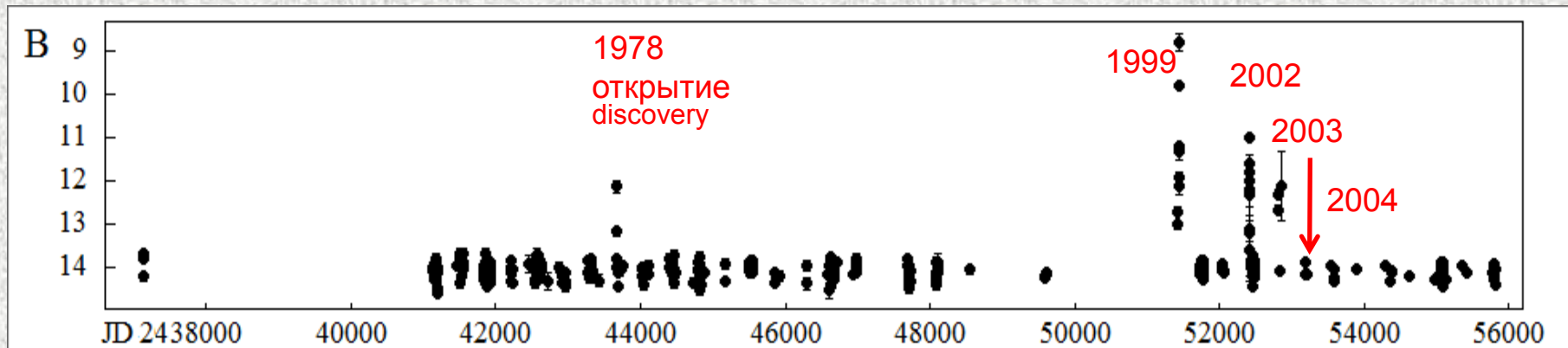
через 30 мин



17 сентября 1999 г.

Радиоинтерферометрия на VLA, R.Hjellming, 1999

VLA radio interferometry



Историческая кривая блеска V4641 Sgr

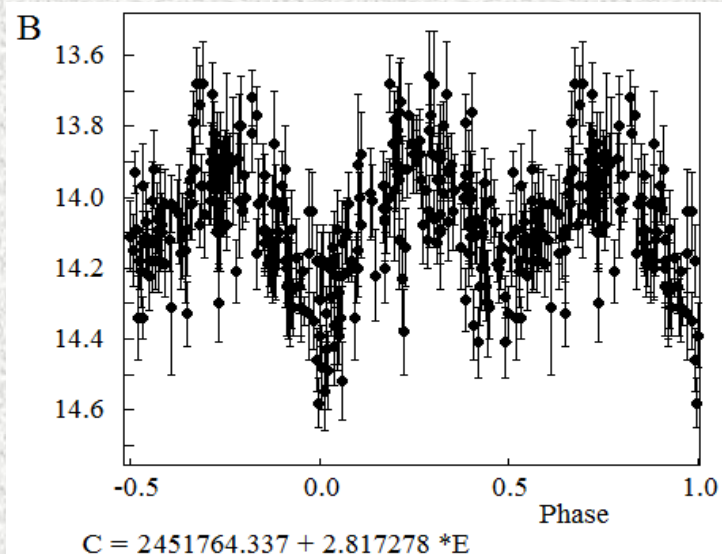
Historical light curve of V4641 Sgr



# V4641 Sgr:

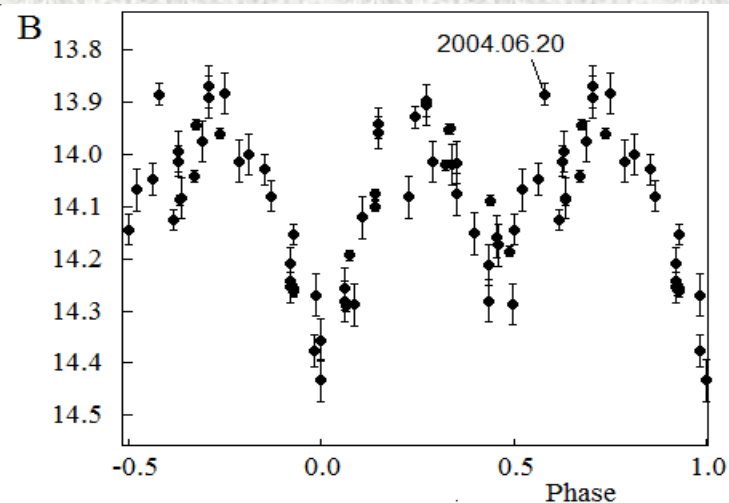
## архивная фотографическая и многоцветная ПЗС-фотометрия

Archive photographic and multicolor CCD photometry



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

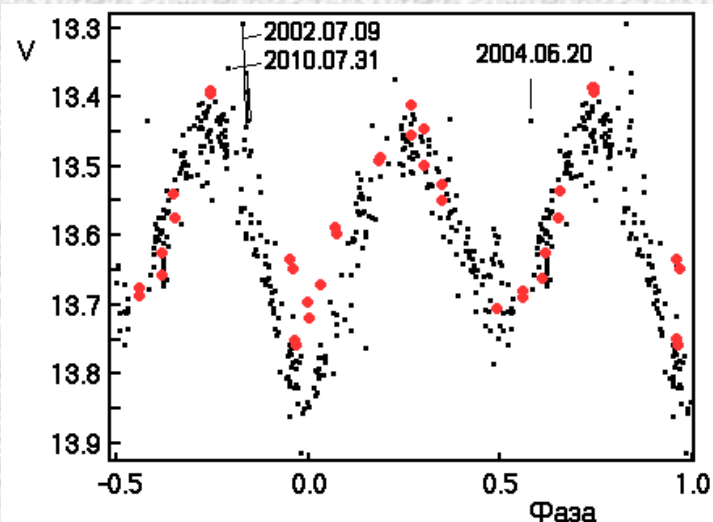
СВИФТ  
обнаружил  
слабое  
переменное  
рентгенов-  
ское  
излучение.



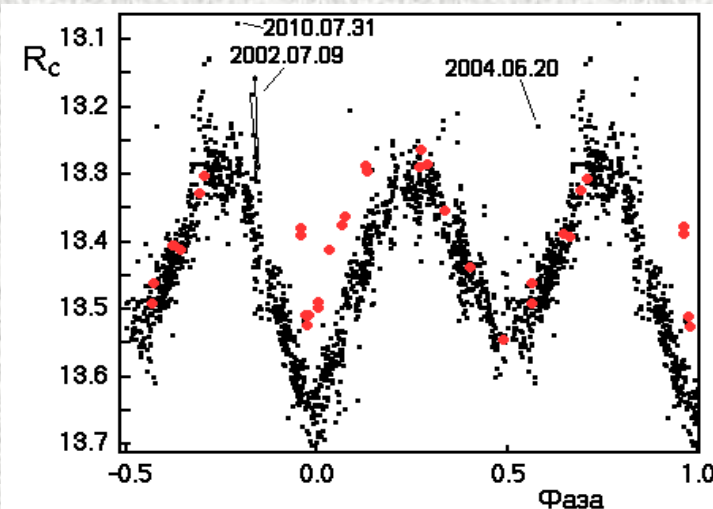
Appearance of  
reflection effect  
in may 2007  
(red circles)

SWIFT  
detected weak  
and variable X-  
ray radiation.

ПЗС-фотометрия в лучах В.



Optical splashes detected



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

# V4641 Sgr:

## спектроскопия

Spectroscopy

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

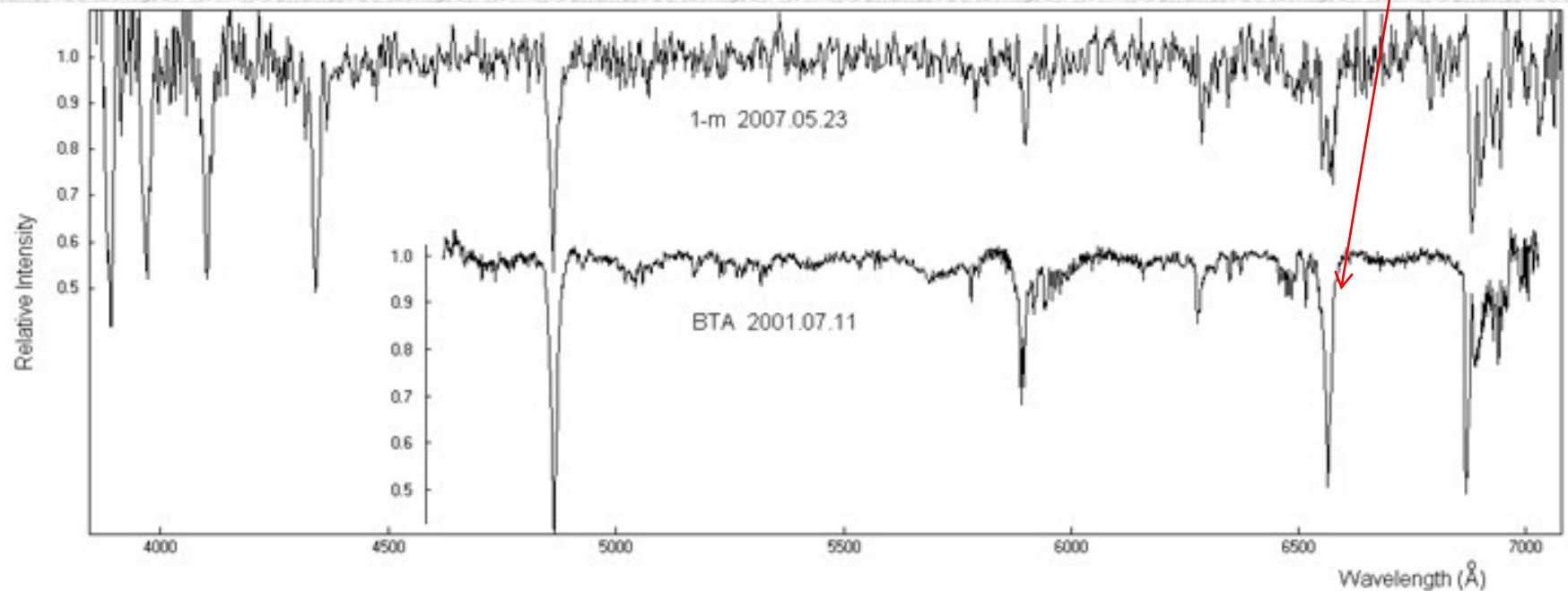
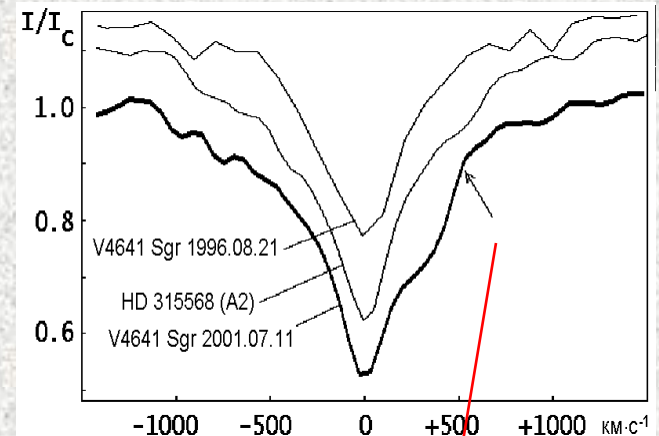
Абсорбционная линия Н-альфа залита эмиссией.

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