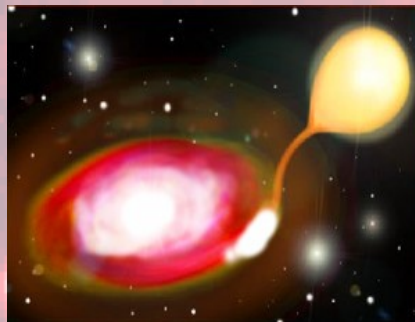


# Фаза SSS у классических новых звезд

**Е.А. Барсукова**

**А.Н. Буренков, Н.В. Борисов, А.Ф. Валеев, С.Н. Фабрика,  
Т.А. Фатхуллин (САО РАН);**

**И.М. Волков, В.П. Горанский, Н.А. Катышева, Н.В. Метлова, С.Ю.  
Шугаров (ГАИШ МГУ); Д. Хохол (Астрономический институт АН  
Словакии) и другие**



# Что такое SSS?

SuperSoft Sources – сверхмягкие рентгеновские источники.

Максимум излучения в диапазоне 15–100 эВ, чаще 30 – 40 эВ, светимость  $L_x = 10^{36}–10^{38}$  эрг/с.

Примеры: CAL 83 и CAL 87 в БМО.

Природа: стационарное горение водорода на поверхности белого карлика в двойной системе (Kahabka, van den Heuvel, 1997). Возможно, термоядерное горение связано с сильным магнитным полем и происходит около магнитного полюса (вопрос спорный).

Примерно 1/3 классических новых после вспышки переходят в стадию стационарного горения водорода на поверхности белого карлика.



**Рентгеновское изображение центра галактики в Андромеде M31 (Chandra).**

Основной состав мягких рентгеновских источников – остатки классических новых в стадии SSS.

# SSS как открытый природный термоядерный реактор

Термоядерный взрыв водорода на поверхности белого карлика – причина вспышки классической новой.

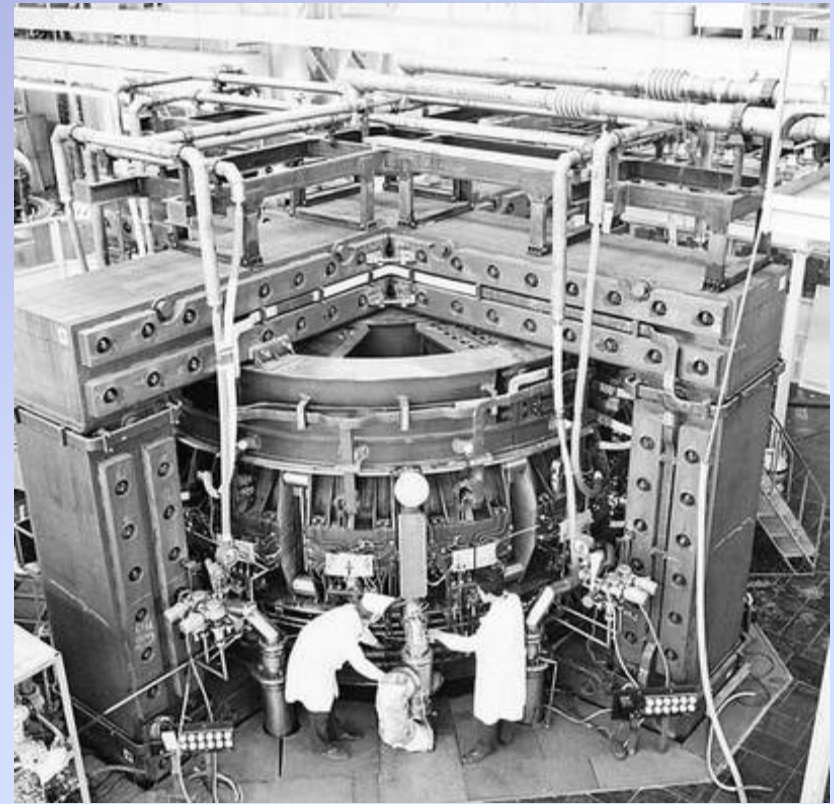
Открытое термоядерное горение на поверхности после рассеяния оболочки.

У некоторых новых горение происходит в стационарном режиме в течение десятилетий. Возможно, стационарные SSS – остатки античных классических новых.

Горючее – водород. Возможно участие примесей CNO в качестве катализаторов.

Температуры 300–600 тыс К.

Механизм? Возможно, сжатие и удержание плазмы в магнитной ловушке в магнитном полюсе белого карлика.



**Термоядерный реактор – токамак Курчатовского института**

Горючее: дейтерий + тритий.

Рабочая температура: 10 млн К.

Механизм: тороидальная магнитная установка для удержания плазмы.



# Наблюдения классических новых, проходящих фазу SSS



Цейсс-1000 САО РАН

**Многоцветная фотометрия с ПЗС**  
UBV(RI)<sub>C</sub>-фотометром, Цейсс-1000

**Многоцветная фотометрия с ПЗС**  
UBVR<sub>C</sub>(RI)<sub>J</sub>-фотометрами и **мониторинг**  
с временным разрешением 2 минуты на  
60-см телескопе Цейсса и 50-см  
менисковом телескопе Максудова  
Крымской станции ГАИШ МГУ.

**Спектроскопия:**  
БТА/UAGS и БТА/SCORPIO,  
классические новые были  
резервными объектами по  
разным программам.

Цейсс-1000 / UAGS



6-м телескоп БТА



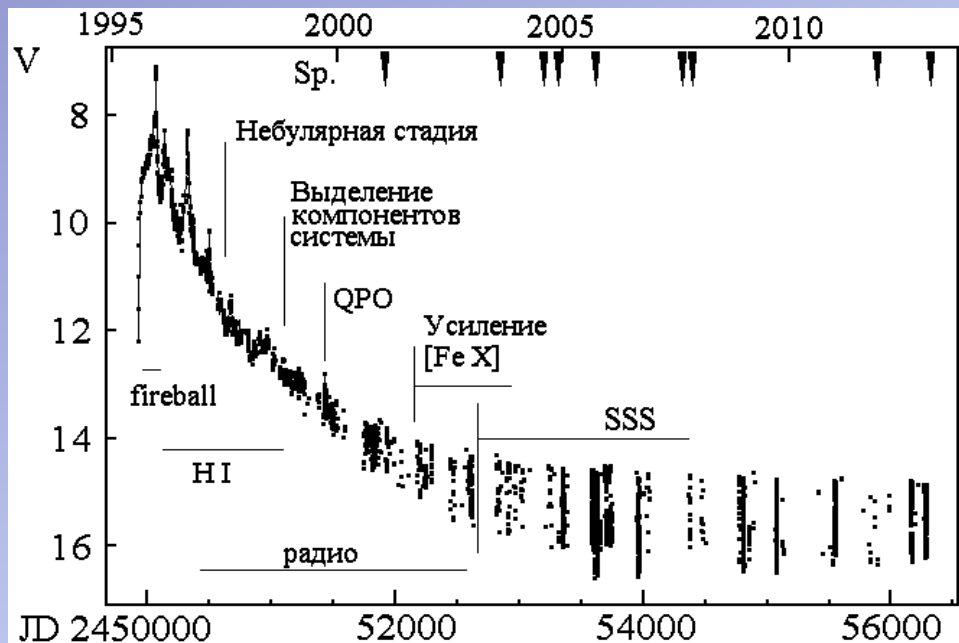
A3T-5



Цейсс-600

# V723 Cas (1995). Фотометрия.

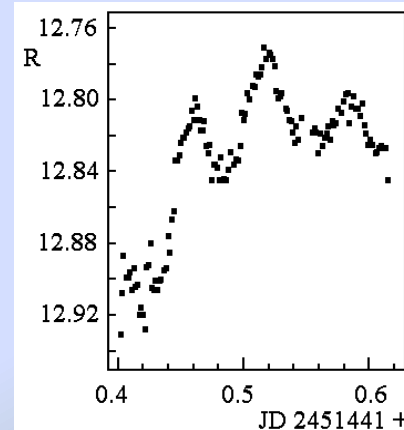
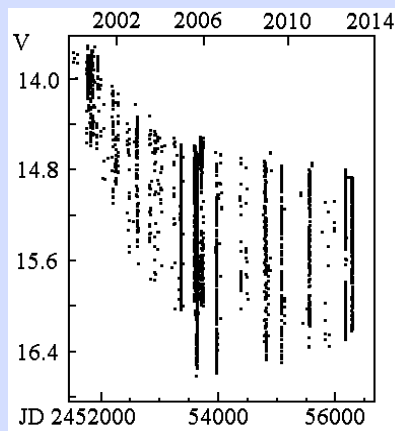
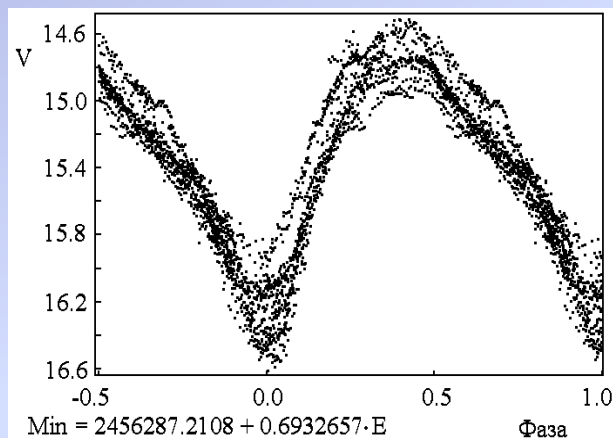
Спектральный класс FeII,  $P = 0^d.69327$ . В фазе SSS наблюдается 10 лет до настоящего времени.



Кривая блеска  
вспышки  
(по данным  
CAO и  
ГАИШ)



Цейсс-1000, 2012 год



Фазовая кривая блеска (2005-2012 г.) и эволюция ее амплитуды

QPO

# V723 Cas

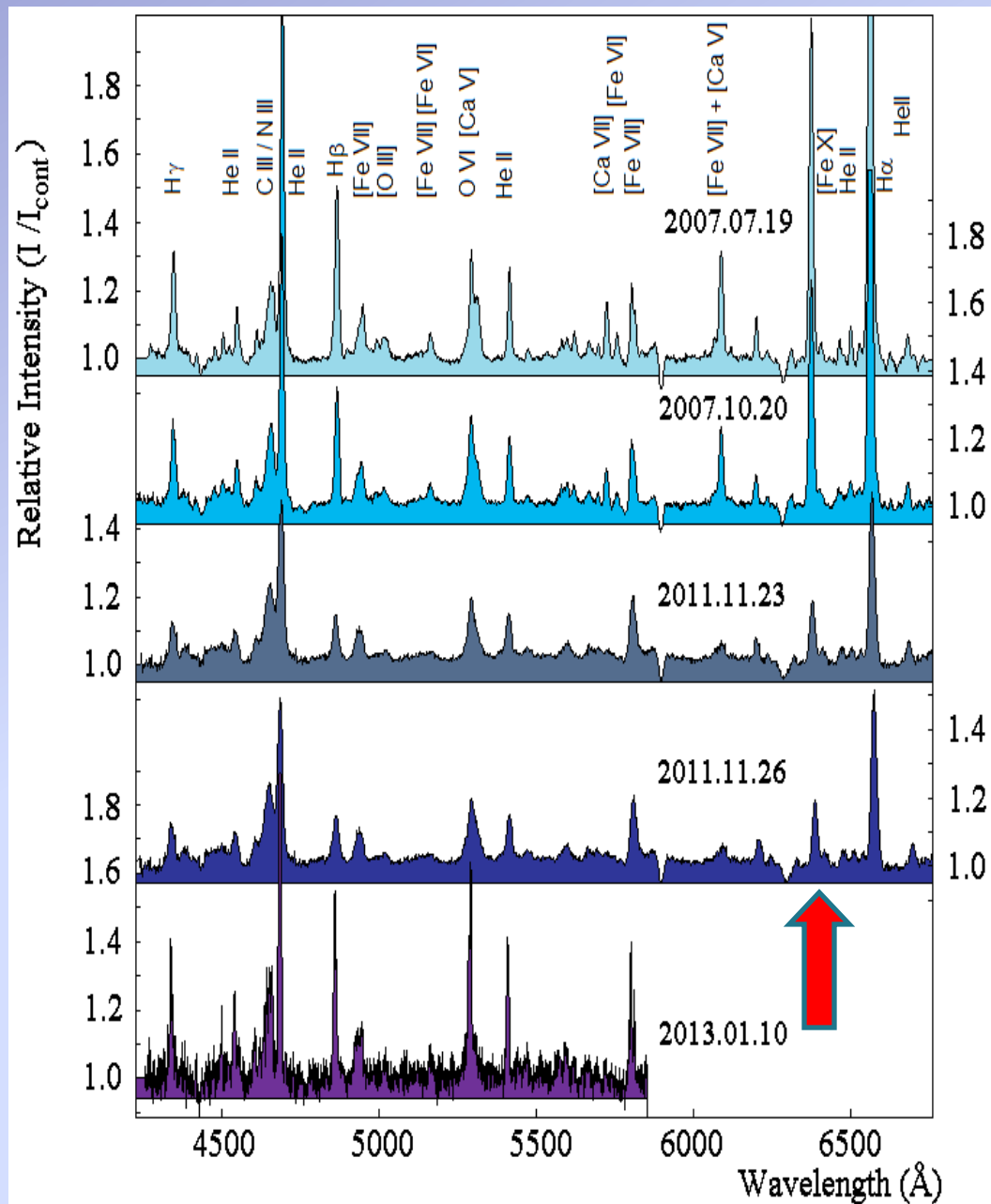
## Спектроскопия

В фазе SSS появились и усилились эмиссии корональных линий [Fe VII], [Fe X], [Ca VI], эмиссии O VI и He II 4686 Å.

Линия [Fe X] – третья по интенсивности после H $\alpha$  и He II 4686 Å (красная стрелка).

Температуры, определенные нами по отношению потоков в линиях He II и H $\beta$  оказались совпадающими с рентгеновскими данными.

Мы наблюдали рост температуры SSS от 195000 до 340000 К за три года .

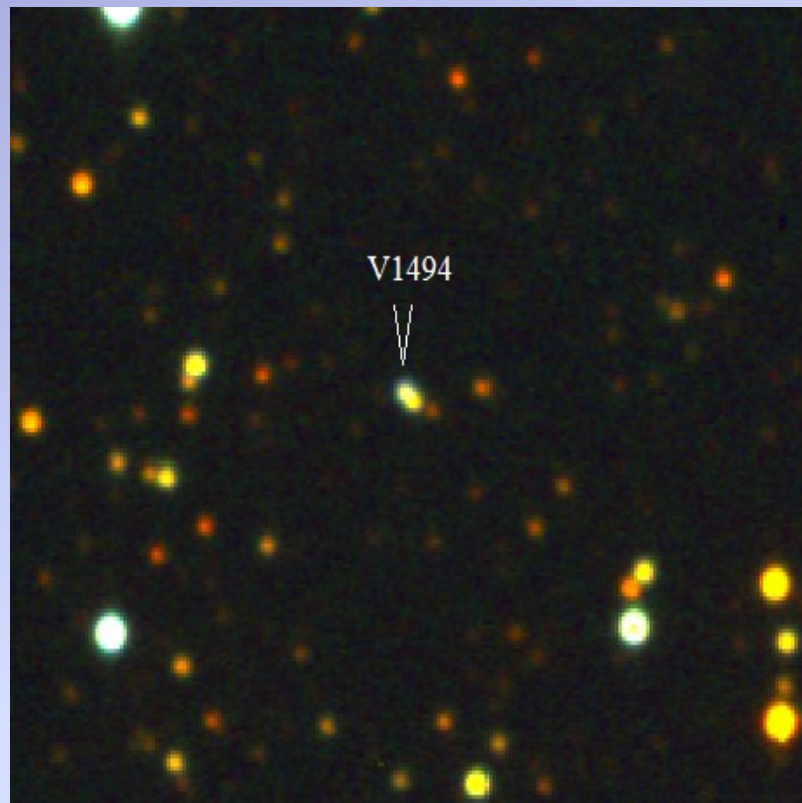
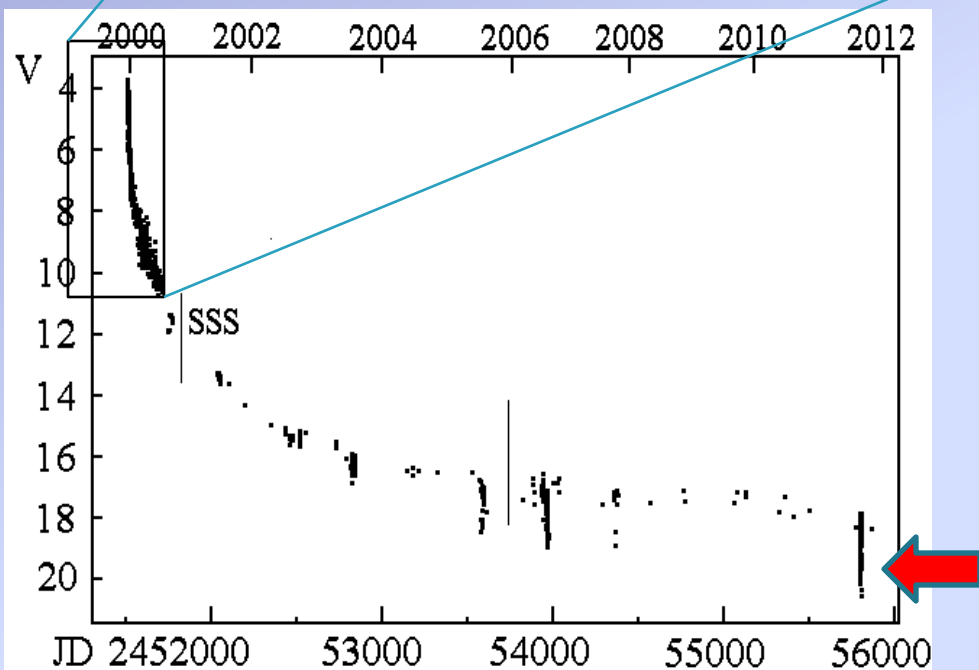
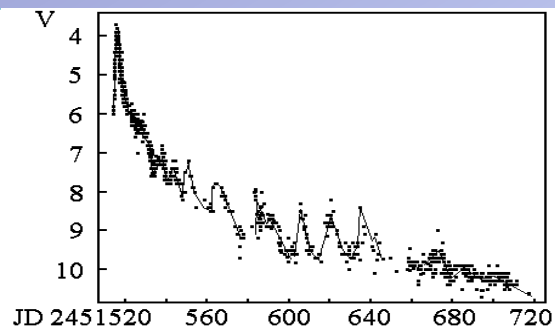


Последние спектры БТА/SCORPIO (нормализованы)

# V1494 Aql (1999 No.2)

Новая класса FeII, затменная система,

$$P_{\text{orb}} = 0^{\text{d}}.1346141$$



Цейсс-1000 САО РАН, 2012 год

Повторные вспышки на спаде блеска – свидетельство сильного магнитного поля у белого карлика. Магнитное поле белого карлика вызывает накопление массы в диске и повторяющееся ее выпадение на белый карлик.

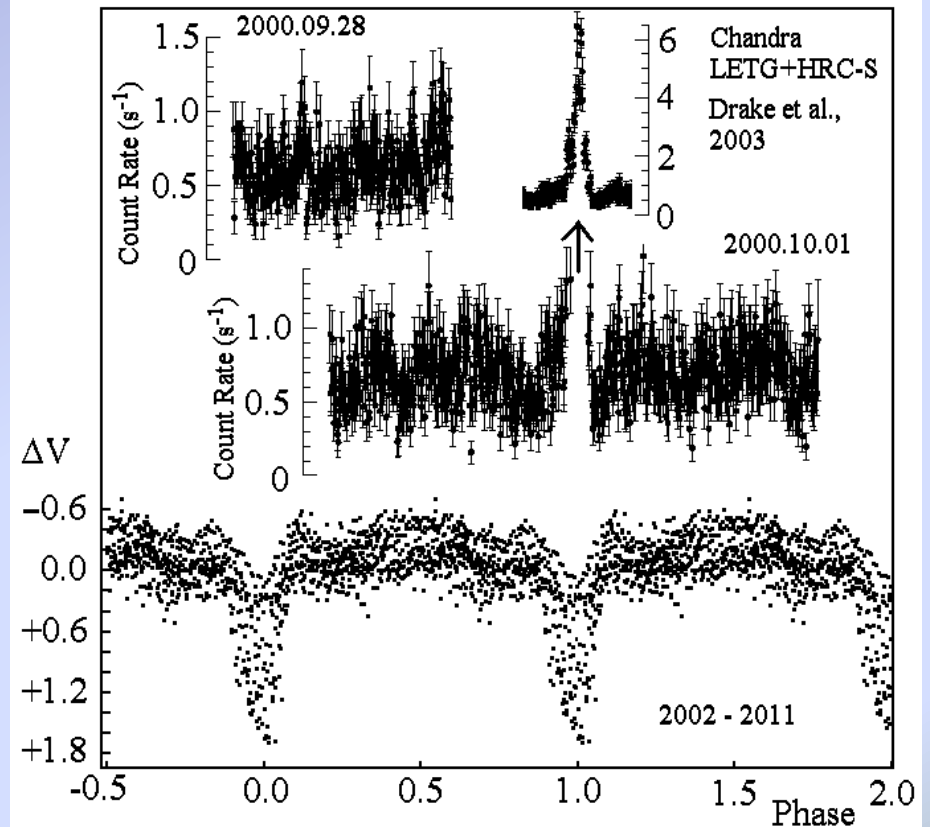
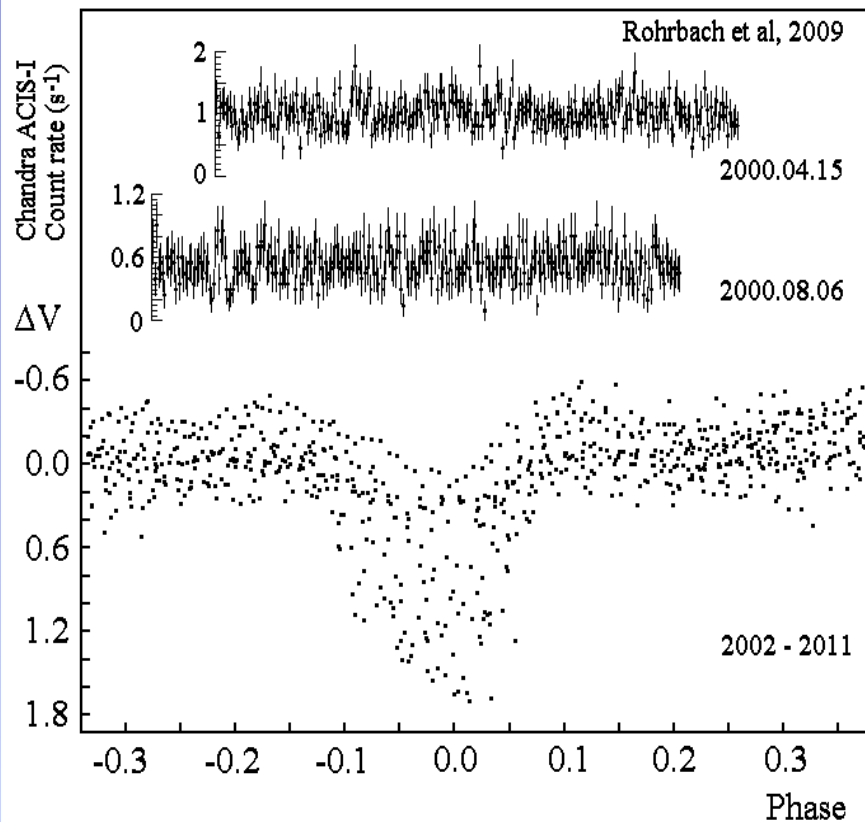
Кривая блеска вспышки. Видны затмения (красная стрелка).



# V1494 Aql

## Сравнение оптических наблюдений с рентгеновскими данными Chandra

Мы уточнили орбитальные элементы:  $\text{Min I} = 2455803.4005 + 0^{\text{d}}.1346161 \text{ E}$



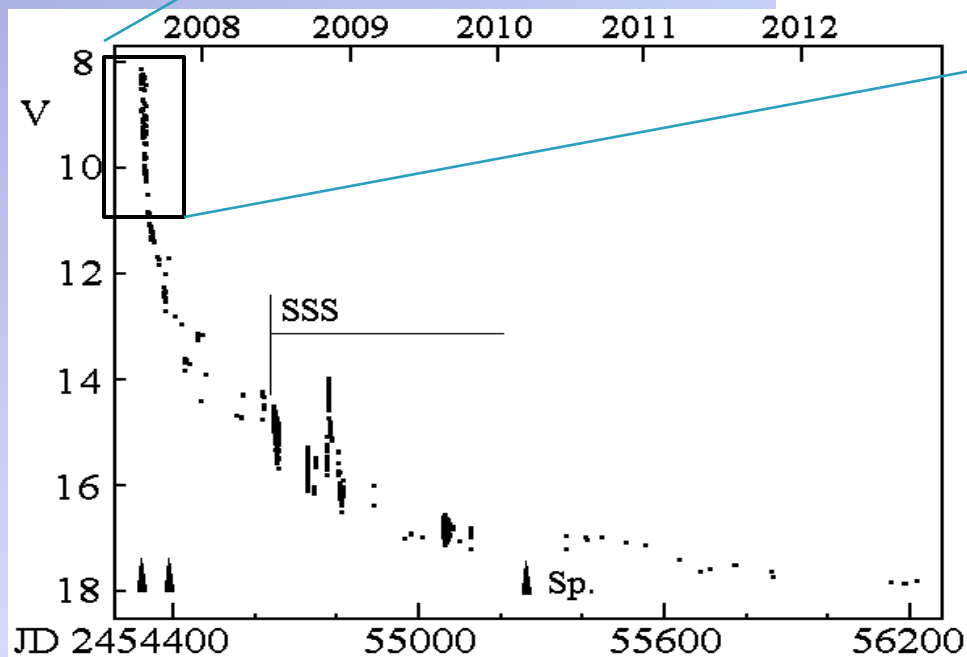
Затмения в мягком рентгене отсутствуют. Единственная рентгеновская вспышка пришлась на фазы затмения. Эти наблюдения ставят под сомнение гипотезу (Кахабка и ван ден Хойвел, 1997) о том, что источник мягкого рентгена находится на поверхности белого карлика.



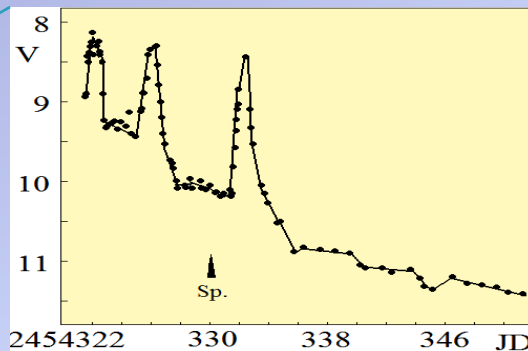
# V458 Vul (2007)

Уникальная новая, у которой спектральный класс сменился от Fe II к He/N. Гибридная новая.  $P_{orb} = 0^d.06812255$  (Родригес-Гил и др., 2010) найден по доплеровскому смещению линии HeII 4686 Å. В центре планетарной туманности.

## Фотометрия

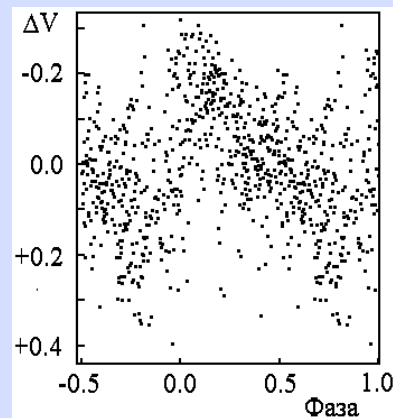


Кривая блеска вспышки



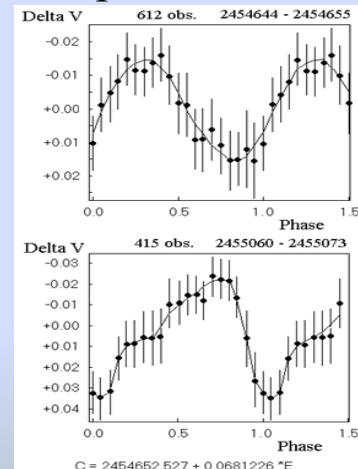
Цейсс-1000, 2012 г.

Периодическая  
переменность в  
фазе SSS



$$C = 2454645.3438 + 0.58872 \cdot E$$

Орбитальная  
переменность



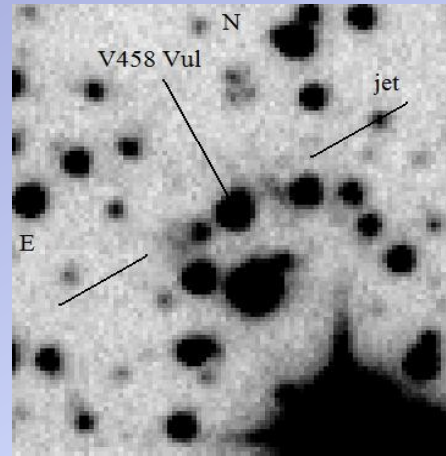
$$C = 2454652.527 + 0.0681226 \cdot E$$

# V458 Vul

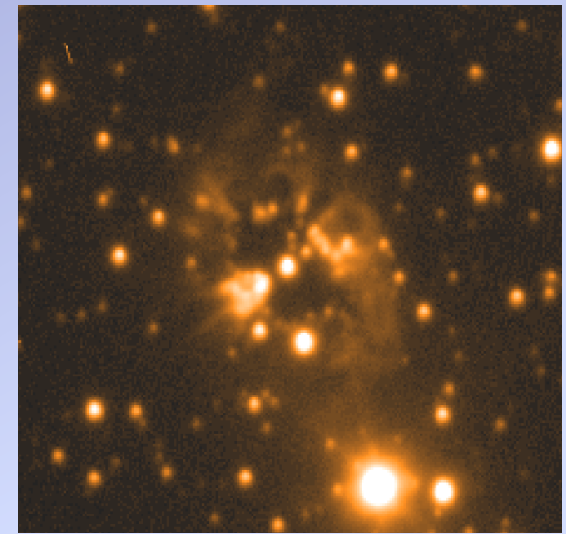
Планетарная туманность, полярные струи и световое эхо

Вспышка новой в центре планетарной туманности – уникальное явление.

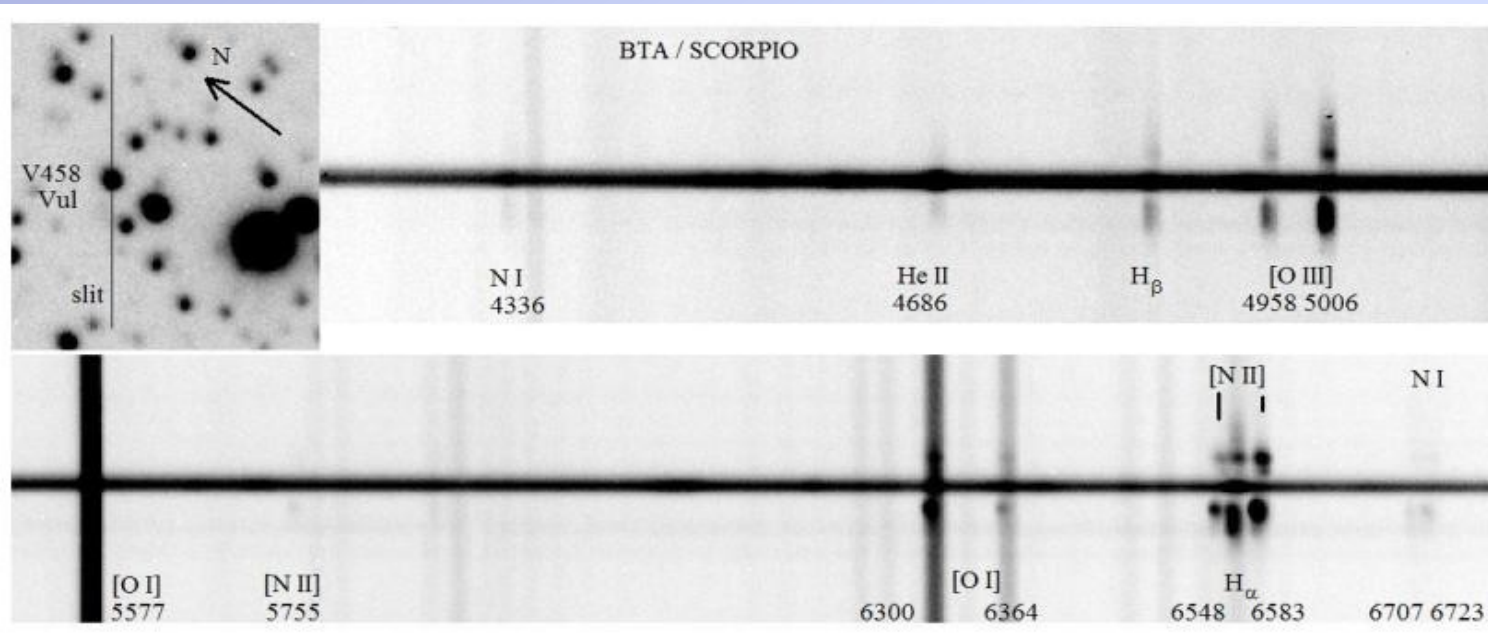
Планетарная туманность образовалась в результате сброса оболочки с вторичного компонента системы в результате вступления его в эволюционную стадию пост-AGB



Цейсс-1000, 2010 г.



IPHAS H $\alpha$  survey



Скорость движения в струях 70 км/с

Световое эхо



# V458 Vul. Спектроскопия

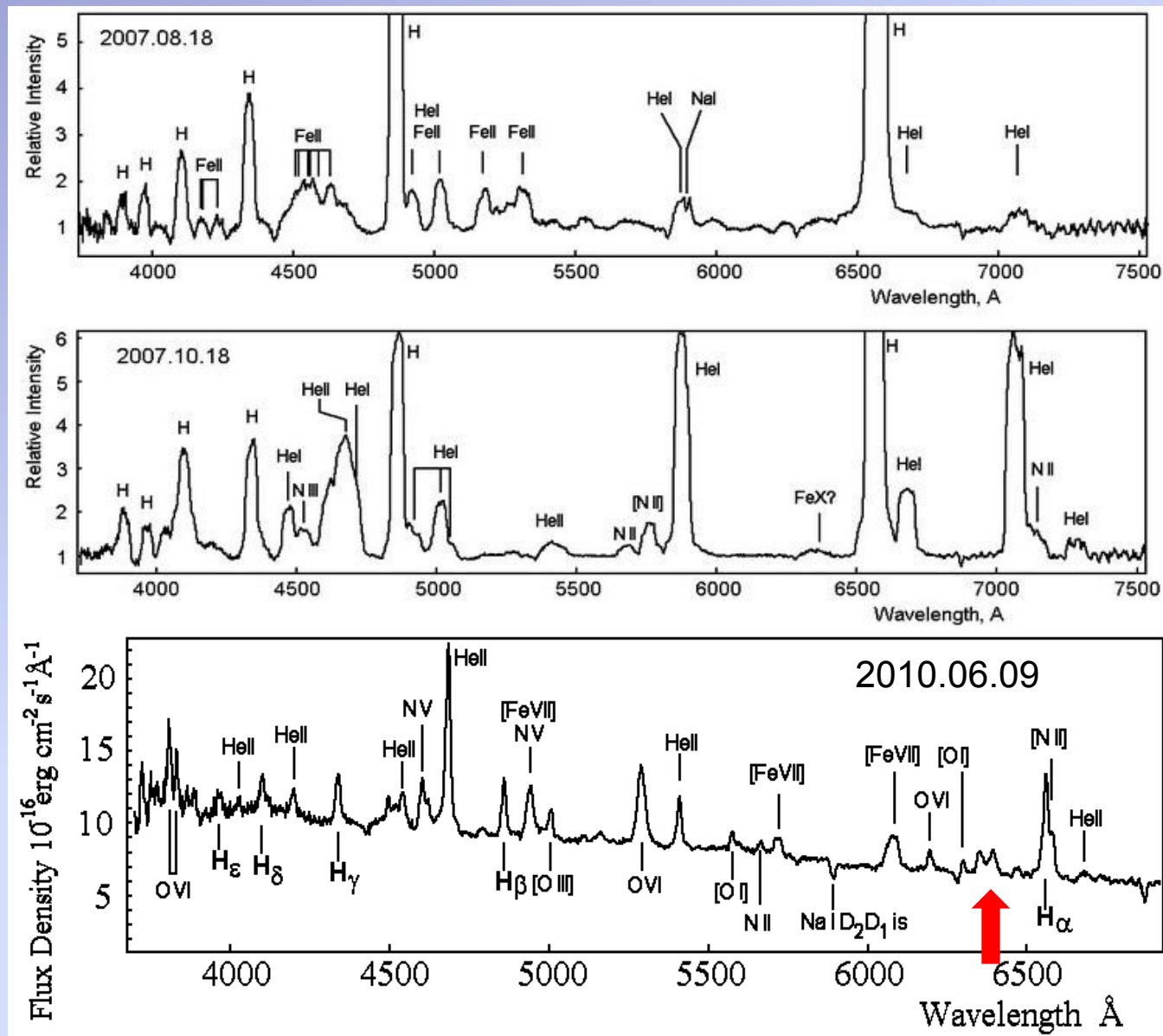
Смена спектрального класса видна в спектрах Цейсс-1000

Здесь доминируют линии FeII.

Линии FeII исчезли, появились и усилились линии He I и N.

Спектр гибридной новой в фазе SSS. Есть линии [FeVII], а также [N II], N V, [O III], O VI.

Странная двойная структура у [FeX] (красная стрелка)



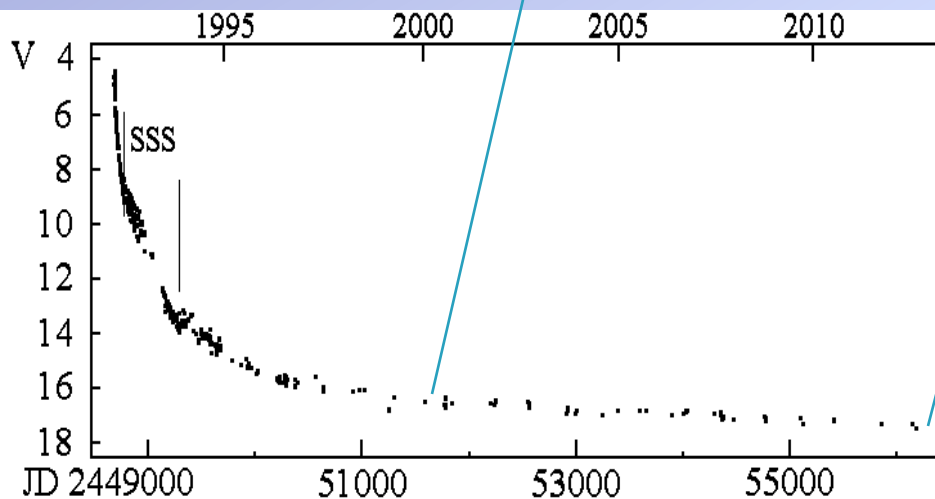
По отношению потоков H $\beta$  к He II T = 500000 K.

# V1974 Cyg (1992)

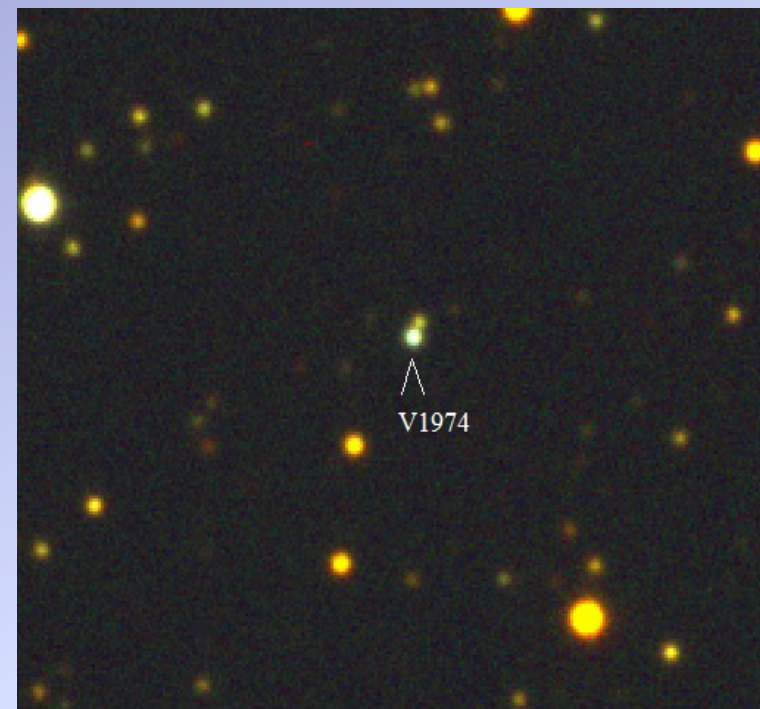
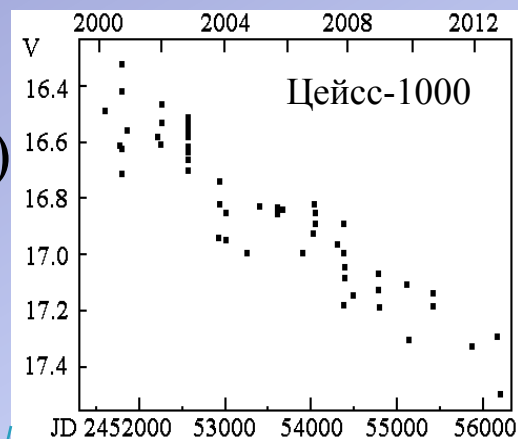
Новая класса O-Ne-Mg и первая новая, у которой была обнаружена фаза SSS

$$P2 = 0^{\text{d}}.08126 \text{ (orb)}$$
$$P1 = 0^{\text{d}}.08521 \text{ (sh)}$$

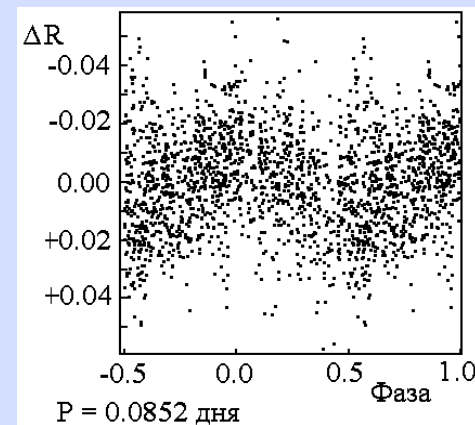
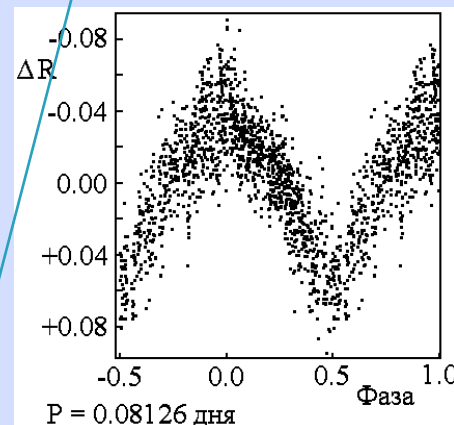
## Фотометрия



Кривая блеска вспышки



Цейсс-1000, 2012 г.



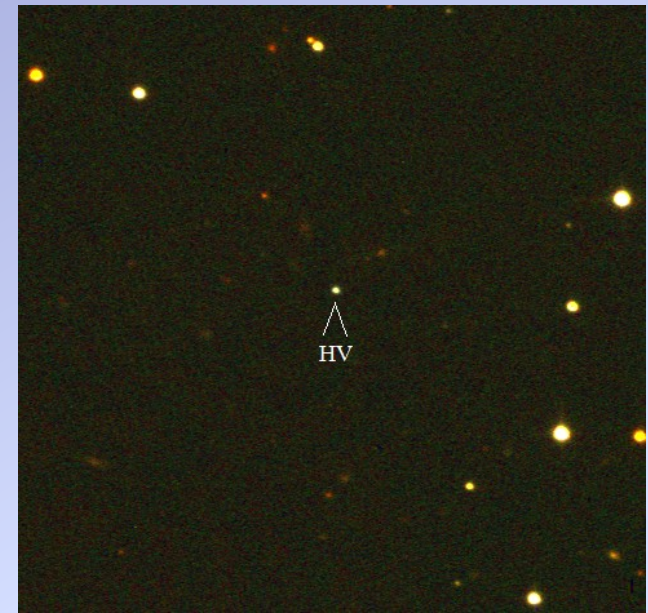
Периодические составляющие в фазе SSS. Период справа наблюдается в отклонениях от средней кривой слева



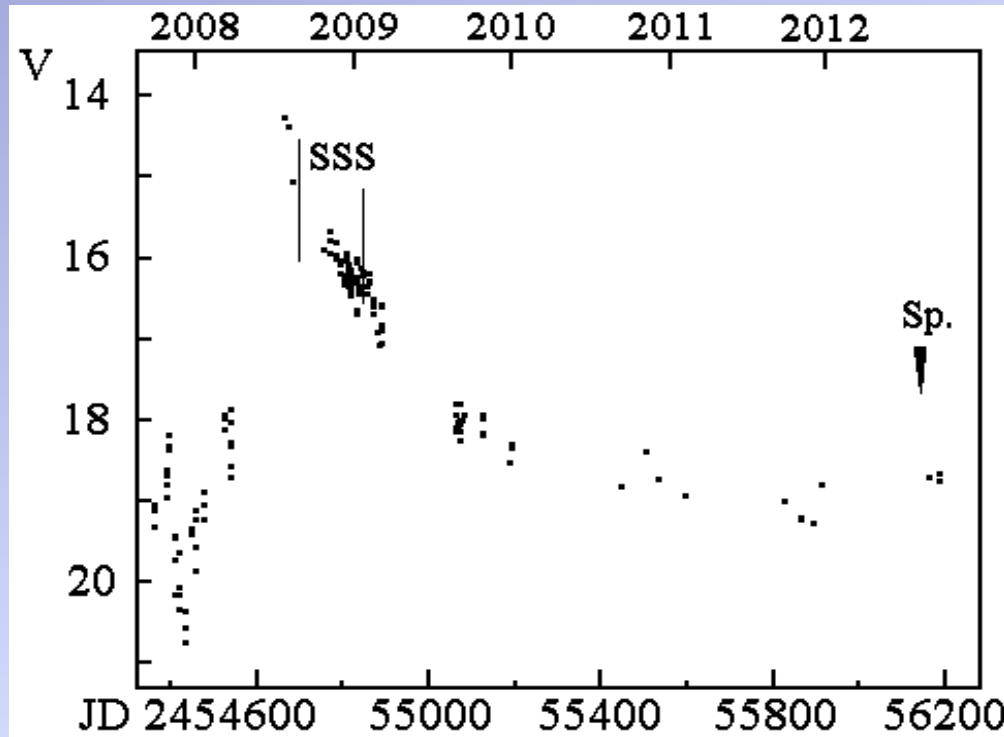
# HV Cet (2008)

CSS 081007:030559+054715

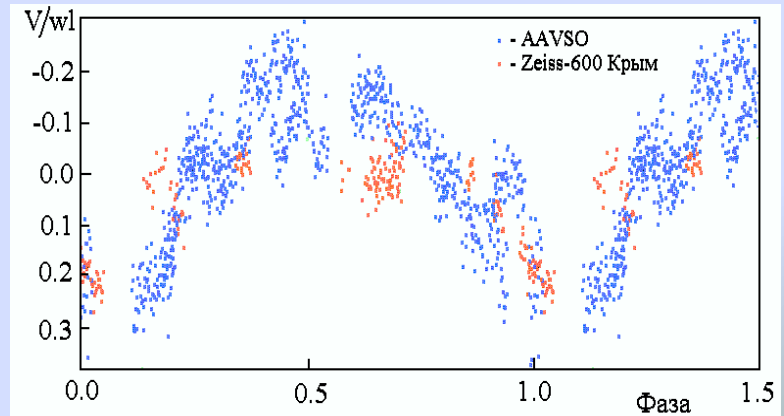
Быстрая неоновая новая. Необычное положение в Галактике:  $l = 172^{\circ}.6$ ,  $b = -43^{\circ}.7$ , в направлении антицентра и на большой галактической широте. Объект II типа населения. В рентгеновских лучах есть четкий период  $P_{orb} = 1^d.7718$ .



Цейсс-1000, 2012 г. В поле вокруг HV Cet видны далекие галактики



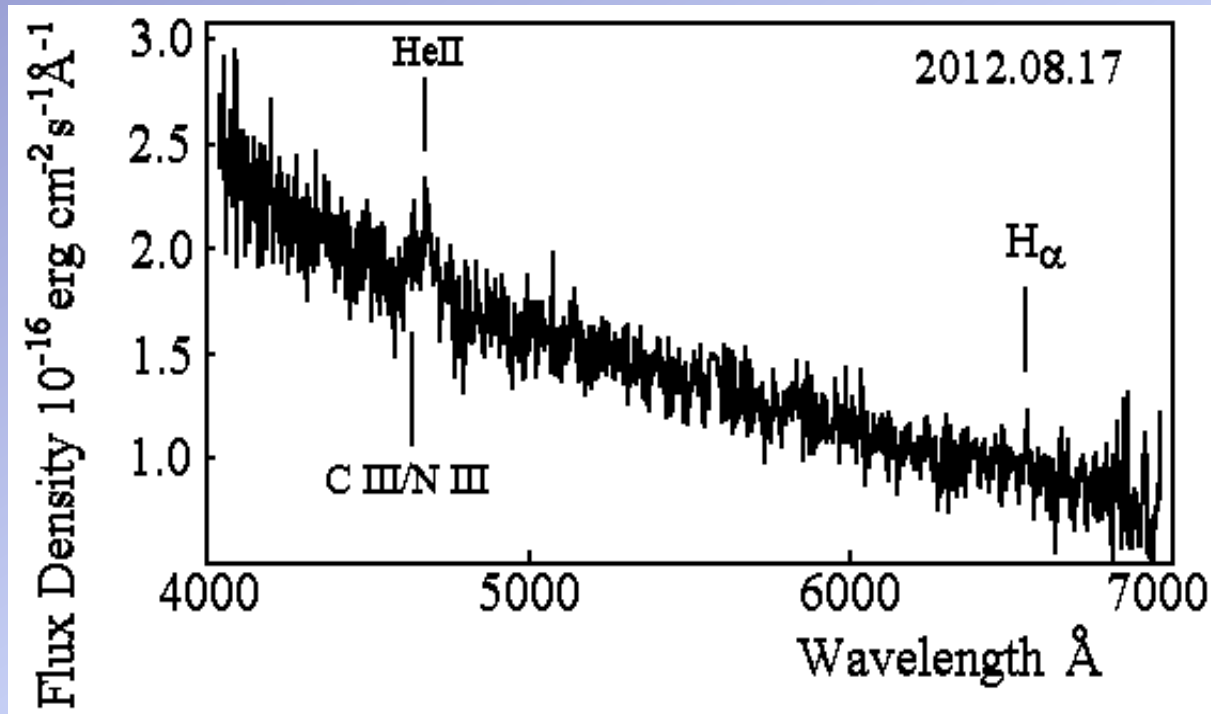
Кривая блеска вспышки. Максимум вспышки пропущен, так как звезда была в стороне Солнца



Наши наблюдения с фазой рентгеновского периода (красные точки)

# HV Cet

## Спектроскопия

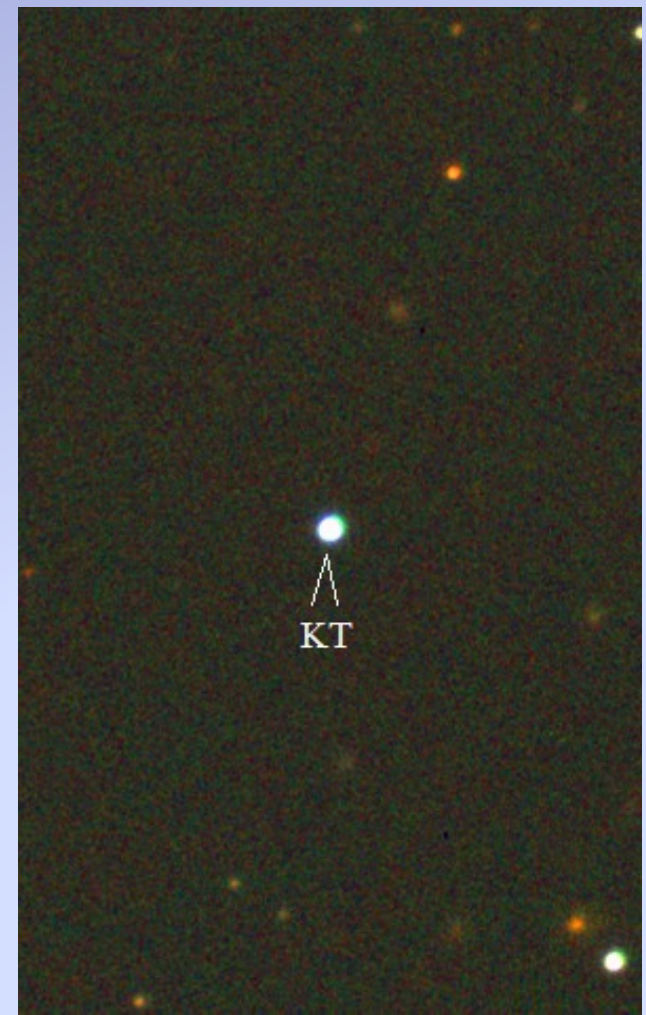
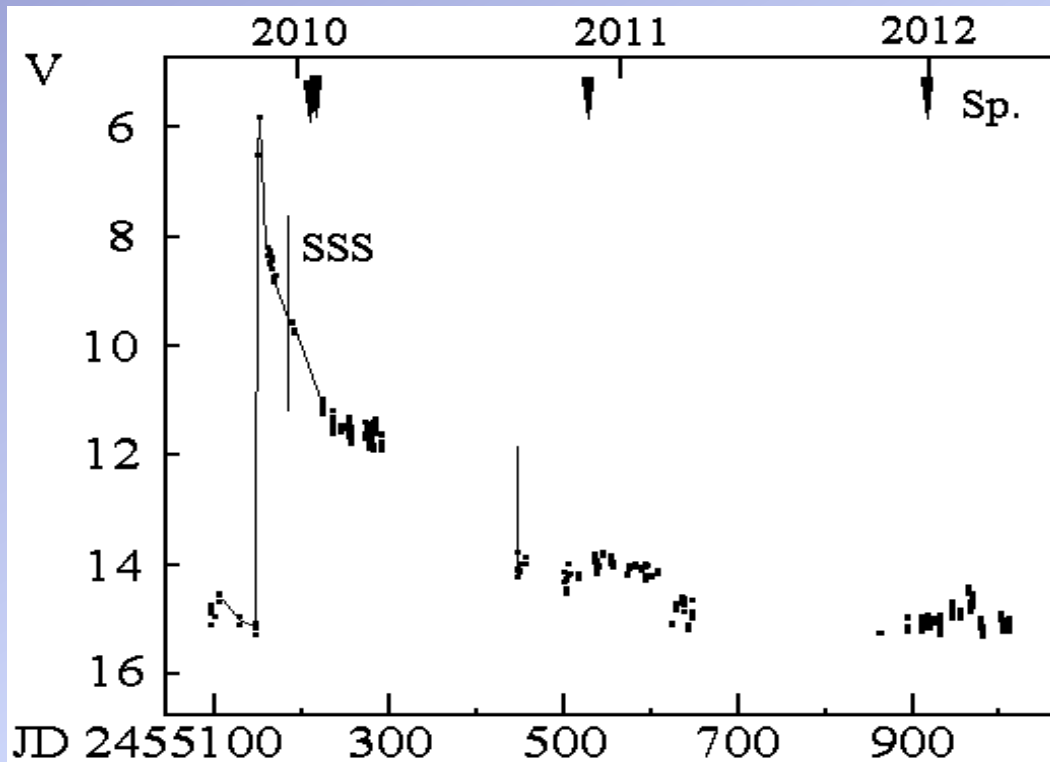


Спектр БТА / SCORPIO получен, когда блеск опустился до уровня перед вспышкой. В спектре с низким соотношением сигнал/шум видна эмиссия He II 4686  $\text{\AA}$ , смещенная на -180 км/с, более слабые эмиссии H $\alpha$  и бленда C III/N III. Очевидно, оболочка рассеялась, и наблюдается только аккреционный диск.

# KT Eri (2009)

Быстрая новая класса He/N. Тоже появилась на высокой галактической широте в направлении на антицентр ( $l = 208^\circ$ ,  $b = -32^\circ$ ) на расстоянии 4 кпс.

Объект II типа населения.



Цейсс-1000, 2012 г. В этом поле также видны далекие галактики.

Кривая блеска вспышки. Звезда за 2 года достигла предвспышечного состояния. Орбитальный или другой период нами не найден. По гарвадским архивам он может быть  $737^d$  (Jurdana-Sepic et al., 2011). Повторная новая типа RS Oph?

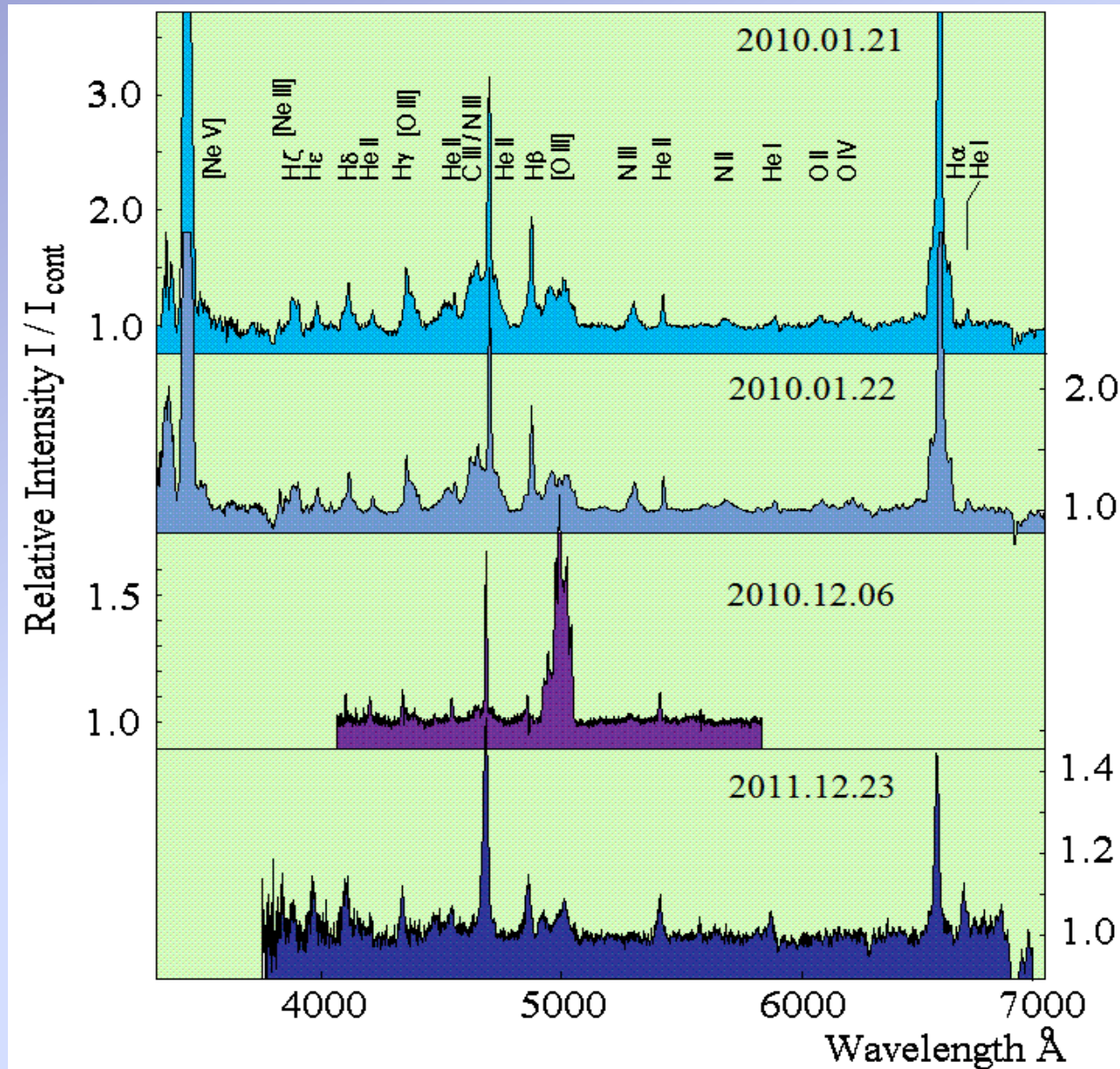
# KT Eri (2009)

## Спектроскопия

В спектре KT Eri линии водорода и He II были узкими с FWHM = 600 км/с, но имели широкие пьедесталы в 2700 км/с.

Это редкий случай, когда в спектре вспышки даже около максимума блеска наблюдались линии аккреционного диска одновременно с линиями расширяющейся оболочки.

Мы получили для SSS  
 $T = 440000$  К.



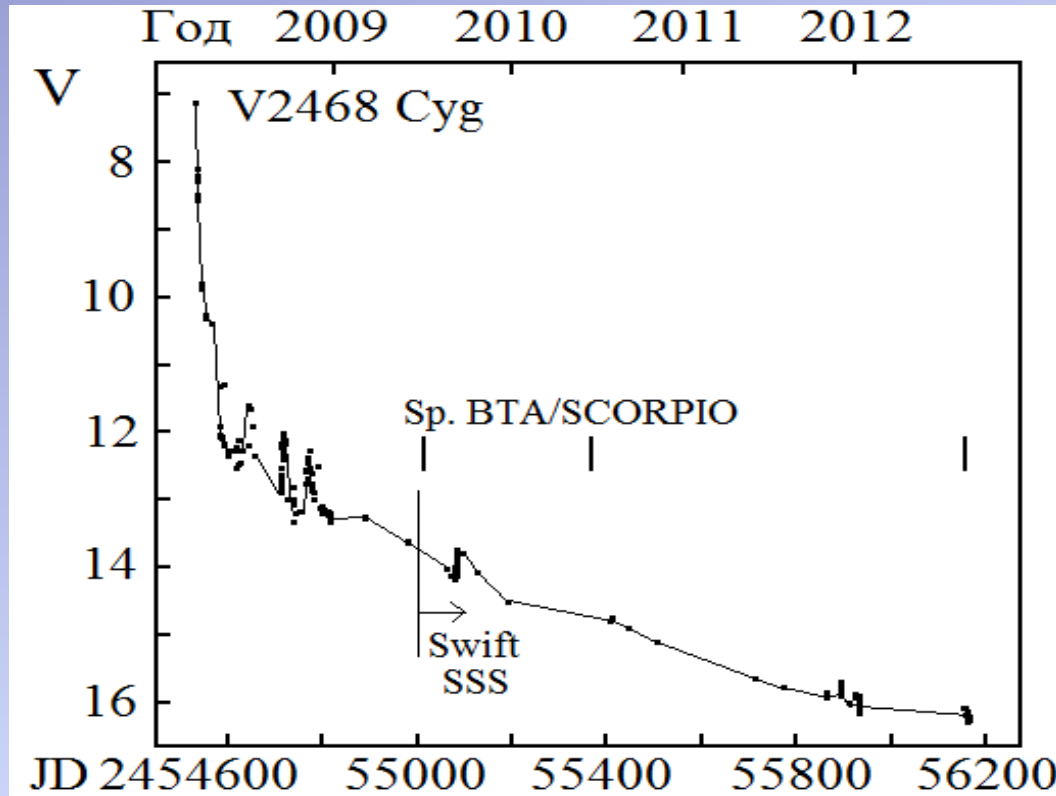
Спектры БТА/SCORPIO



# V2468 Cyg (2008)

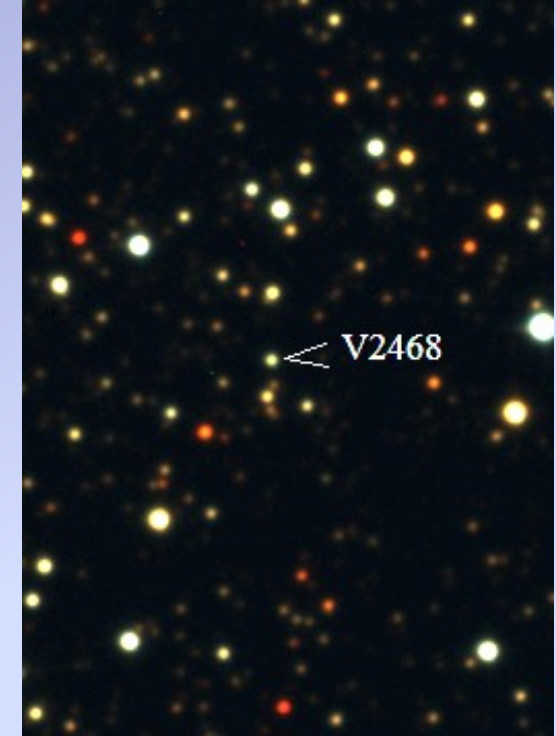
Новая класса FeII.

Период модуляции оптического излучения  $0^{\text{d}}.145243$   
(найден нами по фотометрии в Крыму).

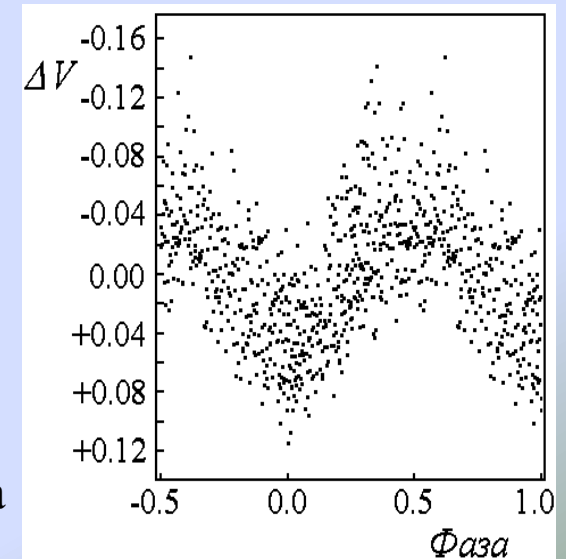


Кривая блеска новой V2468 Cyg. Фаза SSS продолжается уже 3 года.

Фазовая кривая блеска, полученная на 60-см Цейссе Крымской станции МГУ

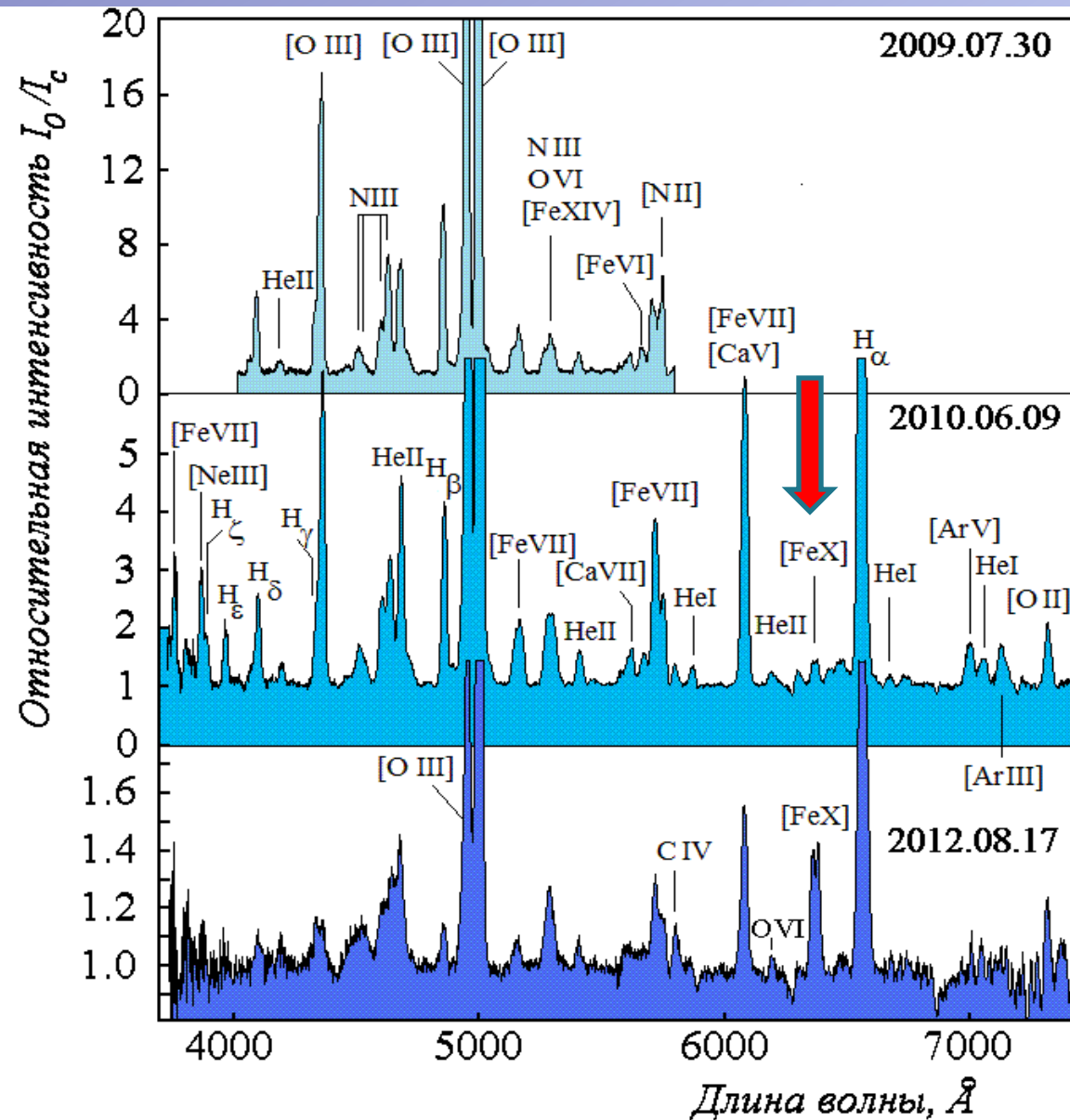


Цейсс-1000, 2012 г.



# V2468 Cyg

## Спектроскопия на БТА с камерой SCORPIO



В спектрах представлены эмиссии атомов высокой степени ионизации, что свидетельствует о высокой температуре источника ионизации. Видны корональные линии [FeVI], [FeVII], [FeX], [FeXIV], [CaV], [CaVII]. Красной стрелкой указана линия [FeX], эквивалентная ширина которой увеличилась в 1.4 раза. В оптике хорошо представлены элементы CNO-цикла.

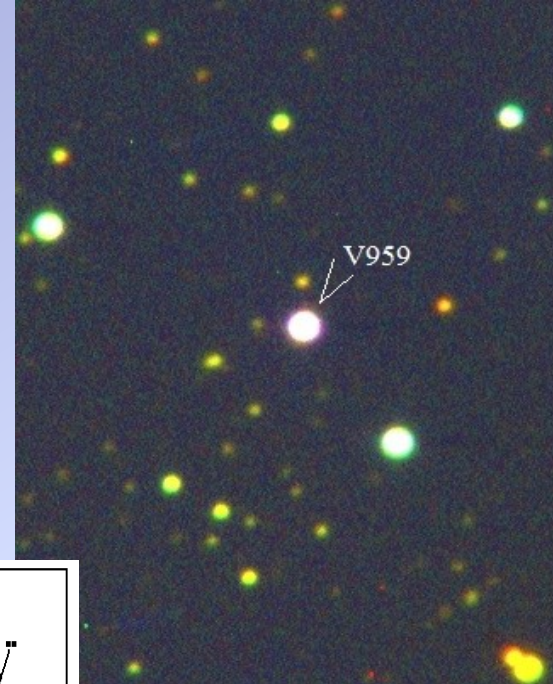
Температура источника, измеренная по отношению потоков эмиссии в линиях H $\beta$  и HeII 4686 $\text{\AA}$ , увеличивается от 210000 до 380000 К.

# V959 Mon (2012)

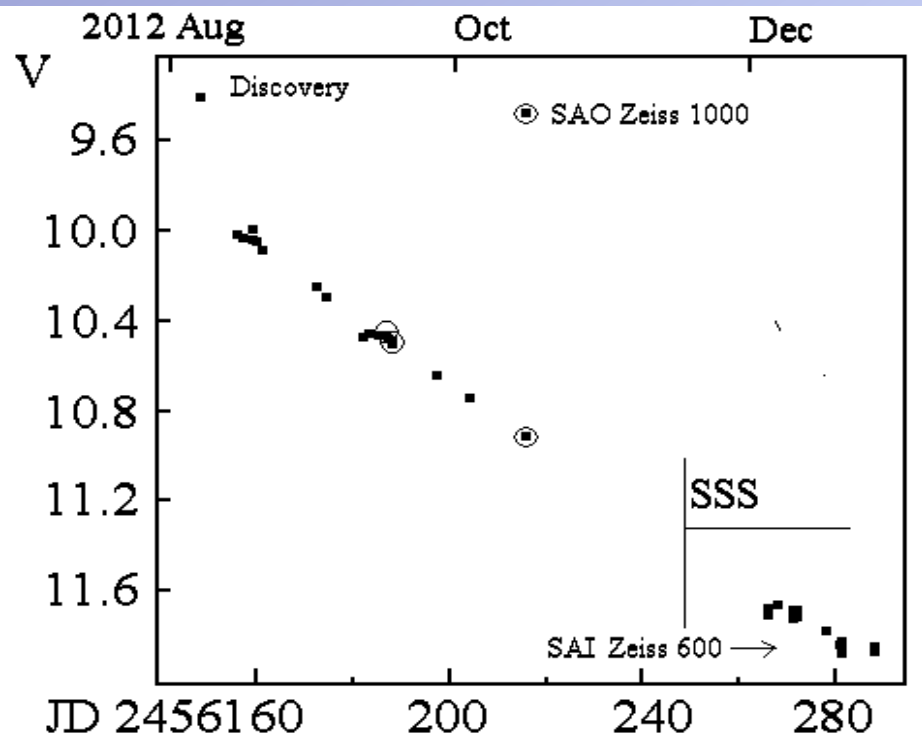
# Фотометрия

## Fermi J0639+0548

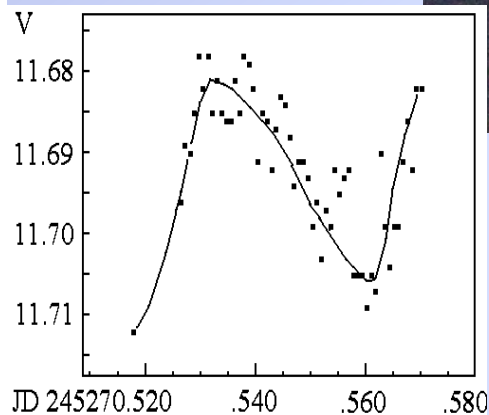
Новая класса He/N с орбитальным периодом  $0^d.2957$  (Osborne et al., 2013) очень яркая в  $\gamma$ -лучах. Она была открыта на орбитальной обсерватории Fermi, работающей в жестком рентгеновском и гамма-диапазонах. SSS зафиксирован на спутнике Swift 18 ноября 2012.



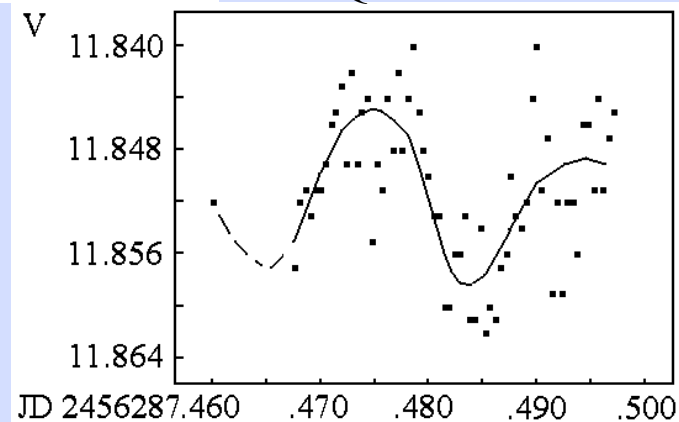
Цейсс-600 Крымской станции ГАИШ, 2012 г.



### Примеры QPO



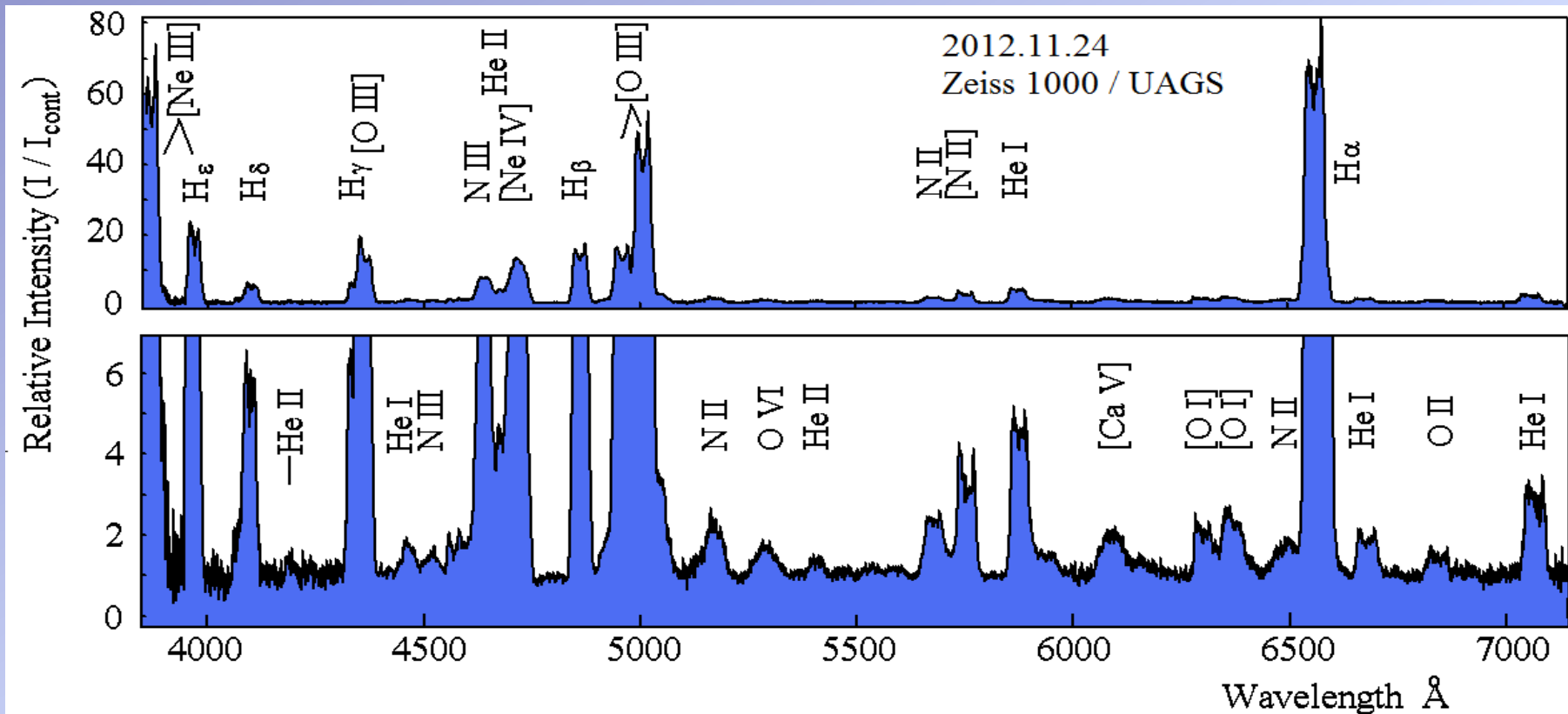
### QPO



Кривая блеска во вспышке. Максимум вспышки был пропущен, так как звезда была в стороне Солнца. Не видно вспышек на спаде блеска.

# V959 Mon

## Спектроскопия



Спектр V959 Mon (Цейсс-1000 / UAGS) через 6 дней после вступления в фазу SSS. По отношению  $\text{H}\beta / \text{He II}$  и отсутствию  $[\text{Fe X}]$  температура невысокая. SSS не подтверждается. FWHM линий H и He I 2200 км/с, FWZI 3700 км/с.  $\gamma$ -вспышка объясняется взаимодействием выброшенной оболочки с протяженной пылевой оболочкой вторичного компонента (Bannerjee et al., 2013).





Спасибо за  
внимание