

## ФИЗИКА ЗВЕЗД

## STELLAR PHYSICS

### СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ R LEO

### SPECKLE INTERFEROMETRY OF R LEO

В рамках программы «Звёзды типа o Cet» выполнены измерения (БТА/SPID) видимого диаметра долгопериодической переменной звезды R Leo - холодного пульсирующего гиганта на поздних стадиях эволюции, размеры которого в сотни раз превышают размеры Солнца.

Within the framework of the program «Type o Cet stars», BTA/SPID was used to measure visual diameter of the long-period variable star R Leo which is a cold pulsing giant on late evolution stages with the size surpassing those of the Sun hundreds times.

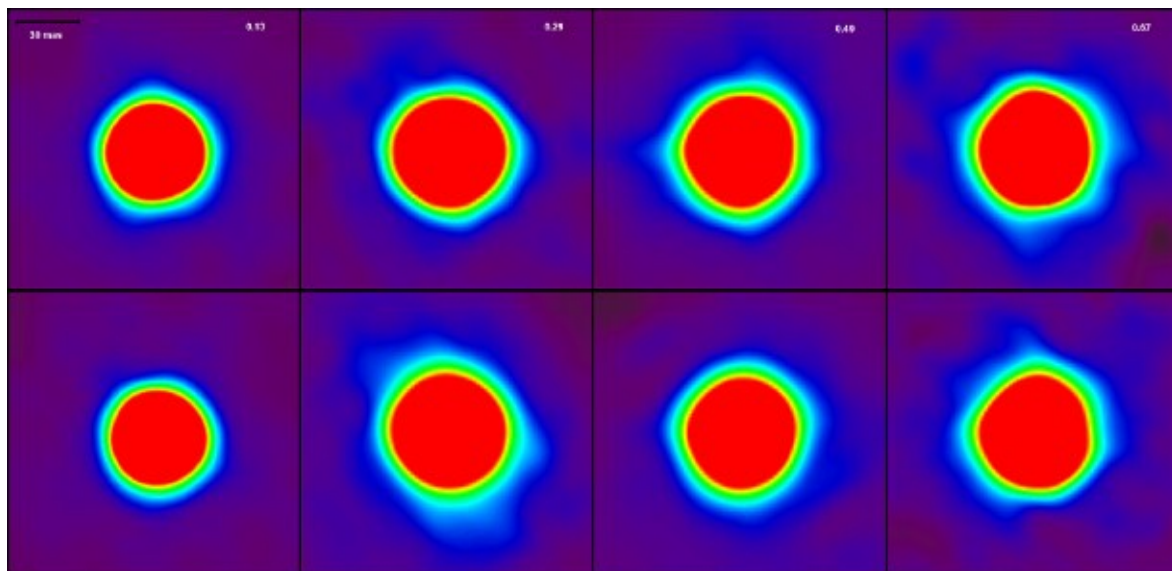


Рис. 26. Восстановленные изображения R Leo в линии  $H_{\alpha}$  и полосе поглощения молекулой TiO для разных фаз кривой блеска.

Fig. 26. Reconstructed images of R Leo in the  $H_{\alpha}$  line and TiO molecule absorption band for different phases of the light curve.

Наблюдения проведены в узких фильтрах, соответствующих областям  $H_{\alpha}$  и квази-континуума на длине волны 700 нм, для четырех фаз одного цикла пульсации (рис. 26). Для определения угловых размеров и формы затухания функции распределения яркости от центра к краю диска звезды использовалась аппроксимация модулей, усредненных по углу пространственного спектра мощности. Линейные значения угловых диаметров в фазах 0.13, 0.29, 0.49, 0.67 составляют 461, 514, 549, 527  $R_{\odot}$  и 424, 539, 539, 541  $R_{\odot}$  в фильтрах 656/16 нм и 699/6 нм, соответственно. Форма распределения яркости изменяется со временем. Накоплены однородные данные об изменении видимого диаметра звезды в разных фазах пульсации. Их амплитуда составляет от 0.043" до 0.056" при точности измерения 0.002", что является рекордным разрешением при мониторинге диаметра звезды на одиночном телескопе. Обнаружена асимметрия профиля звезды при наблюдениях как в линии  $H_{\alpha}$ , так и в полосе поглощения молекулой TiO. Полученные результаты помогут объяснить природу пульсаций этого редкого класса звезд.

Observations were carried out in narrow filters corresponding to  $H_{\alpha}$  regions and quasi-continuum at the wavelength 700 nm for four phases of one pulse cycle (Fig. 26) To determine angular size of the star and the shape of its limb damping of brightness distribution function, the approximation of modules averaged over angle of the spatial power spectrum was used.

The linear sizes of angular diameter in the phases 0.13, 0.29, 0.49, 0.67 are 461, 514, 549, 527  $R_{\odot}$  and 424, 539, 539, 541  $R_{\odot}$  in the filters 656/16nm and 699/6 nm respectively. The brightness distribution shape changes with time. Uniform data were accumulated on the change of visual diameter of the star in different phases of pulsation. Their amplitude is from 0.043" to 0.056" with an accuracy of 0.002", which is a record resolution in the monitoring of the star diameter with a single telescope.

Asymmetry of the star profile was detected in observations both in the  $H_{\alpha}$  line and in the TiO molecule absorption band. The obtained results will help to explain the nature of pulsations of this rare class of stars.

В.В. Дьяченко, Ю.Ю. Балега, А.Ф. Максимов,  
Е.В. Малооголовцев, Д.А. Растегаев.

V.V. Diachenko, Yu.Yu. Balega, A.F. Maksimov,  
E.V. Malogolovets, D.A. Rastegaev.

### СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ МАГНИТНЫХ AP/BP ЗВЕЗД

Проведены наблюдения 240 из 270 звезд с подтвержденными магнитными полями (Отчет САО РАН 2010, с. 45). Из 117 систем, для которых проведена обработка, разрешено на компоненты 27 двойных и 2 тройные системы, причем 14 из них разделены впервые. У четверти двойных Ap/Bp звезд, разрешенных методом спекл-интерферометрии, имеется подтвержденное магнитное поле. Учитывая короткопериодические спектрально-двойные системы и долгопериодические визуально-двойные пары, полагаем, что полная доля двойных звезд с магнитным полем в выборке может быть в два раза больше оцениваемой величины, т.е. выше 50%.

*Ю.Ю. Балега, В.В. Дьяченко, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец, Д.А. Растегаев, И.И. Романюк. Astronomische Nachrichten, 332, 978 (2011).*

### НОВЫЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН У СВЕРХГИГАНТА LN HYA

Детально изучены (БТА/NES, 2003-2011 гг.) переменность и особенности оптического спектра, а также поля скоростей в атмосфере, у полуправильной переменной LN Hyа, которая является высокоширотным сверхгигантом на стадии post-AGB. По слабым симметричным фотосферным абсорбциям найдены вариации лучевой скорости от даты к дате, до 3 км/с, что является проявлением слабых пульсаций в глубоких слоях атмосферы.

### SPECKLE INTERFEROMETRY OF MAGNETIC AP/BP STARS

240 of 270 stars with confirmed magnetic field were observed (SAO RAS Report 2010, p. 45). Data of 117 systems were processed. 27 binaries and 2 triple systems were resolved to components, 14 of them being resolved for the first time.

A quarter of binary Ap/Bp stars resolved by the speckle interferometry method have confirmed magnetic field.

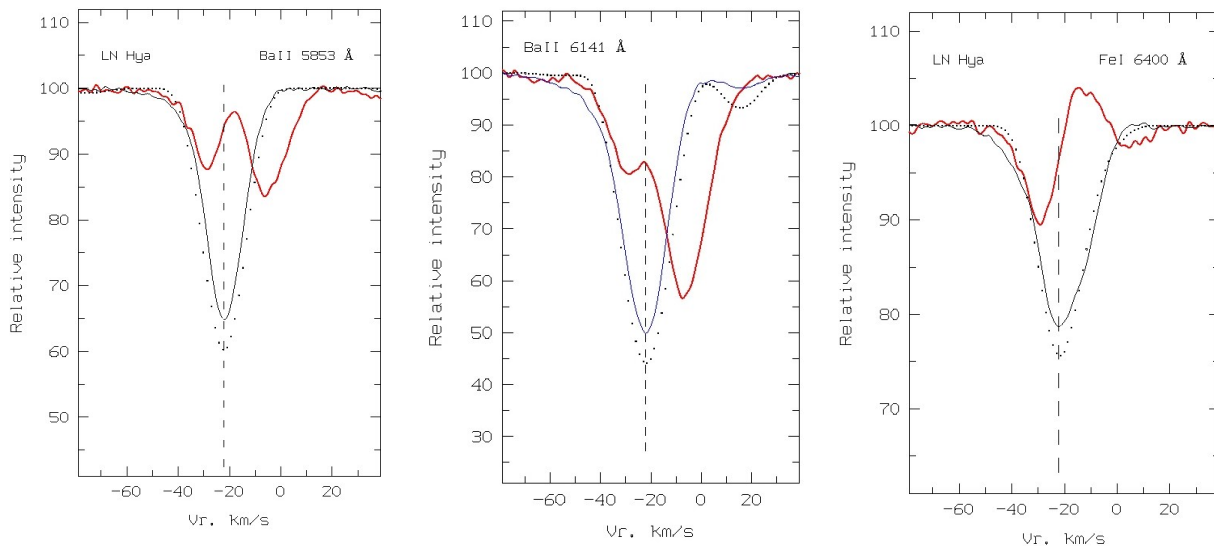
Taking into account spectroscopic binary systems and long-period visual binary pairs, we think that the total percentage of binaries with magnetic field in the sample can be twice the estimated value, i.e. higher than 50%.

*Yu.Yu. Balega, V.V. Dyachenko, A.F. Maksimov, E.V. Malogolovets, D.A. Rastegaev, I.I. Romanyuk. Astronomische Nachrichten, 332, 978 (2011).*

### A NEW SPECTROSCOPIC PHENOMENON IN THE SUPERGIANT LN HYA

Variability, features of the optical spectrum, and velocity field in atmosphere of the semi-regular variable LN Hya which is a high-latitude supergiant at the post-AGN stage were studied in detail (BTA/NES, 2003-2011).

Faint symmetric photospheric absorptions showed variations of radial velocity from one date to another up to 3 km/s, which is a manifestation of weak pulsations in deep layers of atmosphere.



*Рис. 27. Профили линий BaII 5853Å и BaII 6141Å (слева и в центре), FeI 6400Å (справа) в спектрах LN Hyа (01.06.2010 - красная линия, 12.01.2011 - синяя линия). Точками нанесен теоретический профиль, рассчитанный по модели с параметрами  $T_{\text{eff}}=6000\text{ K}$ ,  $\log g=1.0$  и  $V_t=4.7\text{ км/сек}$ . Штриховой линией указана системная скорость.*

*Fig. 27. Profiles of the lines BaII 5853Å and BaII 6141Å (left and center), FeI 6400Å (right) in spectra of LN Hya (01.06.2010 – the red line, 12.01.2011 – the blue line). Dots denote a theoretical profile calculated by a model with the parameters  $T_{\text{eff}}=6000\text{ K}$ ,  $\log g=1.0$  and  $V_t=4.7\text{ km/s}$ . The dashed line shows the system velocity.*

Обнаружены пекулярность и переменность профилей сильных линий FeI, FeII, BaII, SiII, а также выявлена асимметричная форма профилей этих линий - их коротковолновые крылья вытянуты, а ядра либо раздвоены, либо искажены эмиссией (рис. 27). В 2010 г. от спектра к спектру изменялись положение и глубина абсорбционного компонента  $H_{\alpha}$ , интенсивность коротковолнового и длинноволнового эмиссионных компонентов этой линии, а также отношение их интенсивностей. В спектре за 01.06.2010 г. зарегистрированы слабые оболочечные эмиссии нейтральных атомов VI, MnI, CoI, NiI, FeI (рис. 28).

Peculiarity and variability of the strong lines FeI, FeII, BaII, SiII were detected, and the asymmetric shape of profiles of these lines was discovered – their short-wave wings are extended, and their cores are either bifurcated or distorted by emission (Fig. 27).

In 2010 the position and depth of the absorption component  $H_{\alpha}$ , the intensity of short-wave and long-wave emission components of this line and the ratio of their intensities changed from one spectrum to another. In the spectrum of June 1, 2010, we registered faint envelope emissions of neutral atoms VI, MnI, CoI, NiI, FeI (Fig.28).

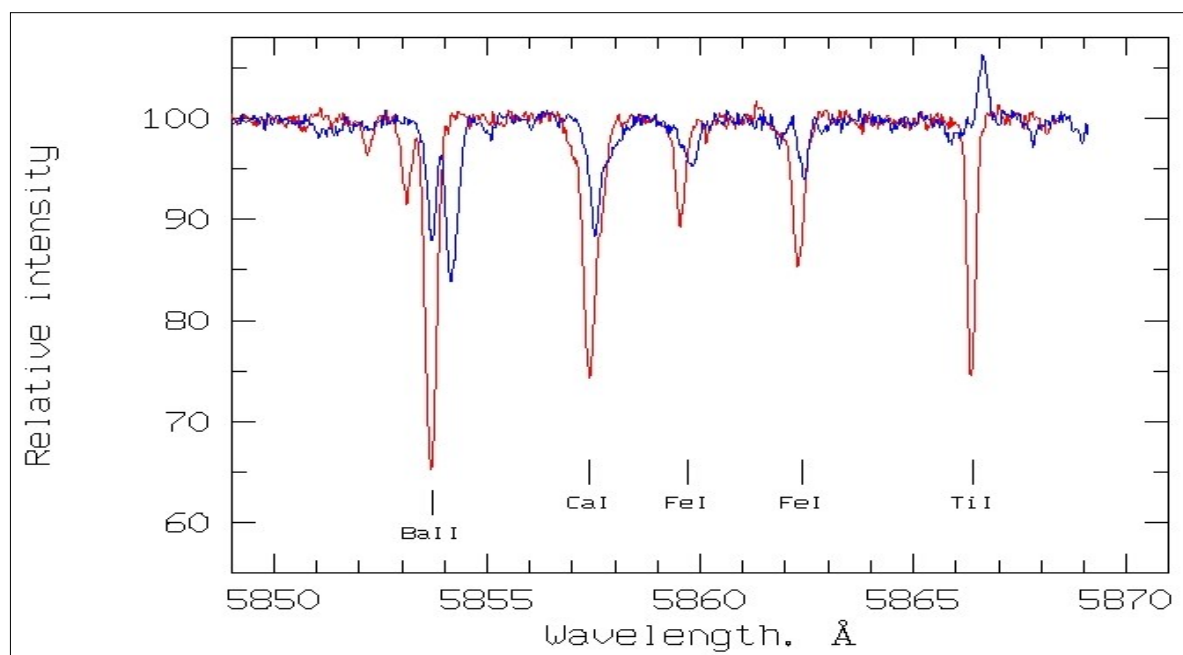


Рис. 28. Фрагмент с оболочечной эмиссией TiI 5866.40Å в спектрах LN Hya, полученных в спокойном (02.04.2010 – красный цвет) и в возбужденном (01.06.2010 – синий) состояниях атмосферы звезды. Указано отождествление основных спектральных линий.

Fig. 28. A fragment with the envelope emission TiI 5866.40Å in the spectrum of LN Hya obtained in quiet (02.04.2010 – in red) and excited (01.06.2010 – in blue) states of the star atmosphere. Identification of main spectral lines is indicated.

Обнаружен новый спектроскопический феномен в спектре LN Hya, а именно: расщепление сильных абсорбций ионов тяжелых металлов и переменность их профилей, а также переменность абсорбционно-эмиссионных профилей линий HI. Эта переменность нарастала на шкале в несколько месяцев, достигла максимума в июне 2010 г., затем атмосфера звезды вернулась в обычное состояние. Активное состояние завершилось появлением в спектре оболочечных эмиссий, измерение положения которых позволило нам впервые зафиксировать системную скорость звезды.

A new spectroscopic phenomenon was discovered in the spectrum of LN Hya, namely, the splitting of strong absorptions of ions of heavy metals and variability of their profiles, and also the variability of absorption-emission profiles of HI lines. This variability had been increasing on the scale of several months, reached maximum in June 2010, then the star atmosphere returned in its usual state. The active state ended in appearance of envelope emissions in spectrum. Measurement of their locations allows us determining the system velocity of the star for the first time.

Все эти особенности спектра LN Hya, зарегистрированные впервые, дают основание утверждать, что в 2010 г. зафиксировано быстрое изменение физических условий в верхних слоях атмосферы сверхгиганта.

All these features of LN Hya spectrum registered for the first time give us the grounds to assert that in 2010 the fast alteration of physical conditions in upper layers of the supergiant atmosphere was registered.

**V.G. Klochkova, V.E. Panchuk.**

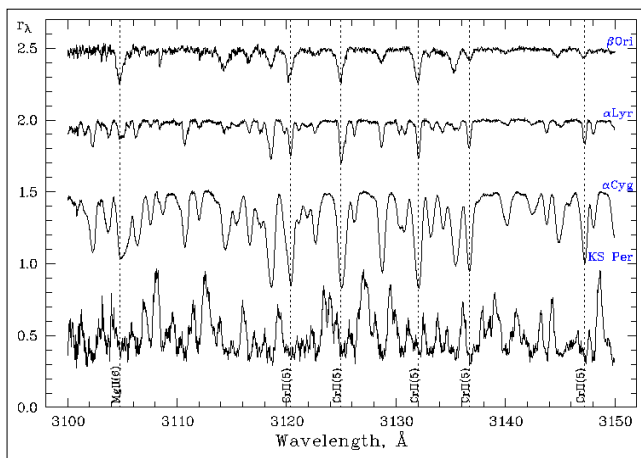
**V.G. Klochkova, V.E. Panchuk.**

## АТЛАС СПЕКТРОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Высокое спектральное разрешение и отношение «сигнал/шум» делают актуальным детальное описание спектров даже стандартных звезд в области наземного ультрафиолета (300-380 нм), которая из-за насыщенности линиями является более информативной, чем видимый диапазон, особенно для горячих звезд. Создан атлас спектров высокого отношения сигнал/шум и высокого спектрального разрешения ( $R=60000$ ) в плохо изученной коротковолновой области длин волн до  $3055\text{\AA}$  (Chentsov et al., 2011). Спектры хорошо изученных звезд близкой температуры ( $\beta$  Ori,  $\alpha$  Lyr и  $\alpha$  Cyg) сопоставлены со спектром малометаллического А-сверхгиганта KS Per, атмосфера которого обеднена водородом,  $H/He=3\cdot 10^{-5}$ .

Спектры в атласе представлены в виде графиков и таблицы со списком линий. Атлас находится по адресу: <http://www.sao.ru/hq/ssl/UV-atlas-SG/atlas.html>.

На рисунке 29 (слева) представлен один из коротковолновых фрагментов спектрального атласа. Справа на рисунке 29 приведен пример использования данных атласа, где даны значения гелиоцентрической лучевой скорости  $V_r$  от остаточной интенсивности линии  $r$ , выраженной в процентах от уровня континуума для  $\beta$  Ori.



## АТЛАС ОФ HIGH-RESOLUTION SPECTRA

The high spectral resolution and signal/noise ratio make it topical the detailed description of spectra even of standard stars in the range of ground ultraviolet (300-380 nm) which, due to its richness of lines, is more informative than the visual range, especially for hot stars.

The atlas of high signal-to-noise ratio and high spectral resolution ( $R=60000$ ) in the poorly-understood short-wave range to  $3055\text{\AA}$  (Chentsov et al., 2011) was compiled.

Spectra of well-studied stars of close temperature ( $\beta$  Ori,  $\alpha$  Lyr and  $\alpha$  Cyg) were compared to the spectrum of the low-metal A-supergiant KS Per whose atmosphere is poor in hydrogen,  $H/He=3\cdot 10^{-5}$ .

Spectra are presented in the atlas in the form of charts and a table with the list of lines. The atlas can be found at <http://www.sao.ru/hq/ssl/UV-atlas-SG/atlas.html>.

Figure 29 left represents one of the short-wave fragments of the spectral atlas.

Figure 29 right represents the example of the usage of atlas data which gives the value of heliocentric radial velocity  $V_r$  of residual intensity of the line  $r$ , expressed in percents of the continuum level for  $\beta$  Ori.

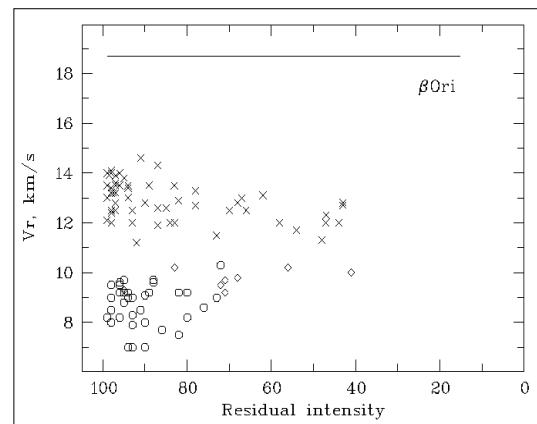


Рис. 29. Слева - один из фрагментов спектрального атласа. Горизонтальная ось размечена по лабораторным длинам волн слабых абсорбций. Нанесено отождествление избранных линий. Справа - зависимость для  $\beta$  Ori гелиоцентрической лучевой скорости от остаточной интенсивности линии, выраженной в процентах от уровня континуума. Каждый значок соответствует одной линии. Кружки – FeII и др. ионы группы железа, косые крестики – H I, He I, C II, N II, O II, ромбики – S II, Mg II, Si II, Ca II. Горизонтальная прямая - системная скорость звезды  $V_{\text{sys}}=18.7$  км/с.

Fig. 29. Left – one of fragments of the spectral atlas. The horizontal axis is marked by laboratory wavelengths of weak absorptions. Identification of selected lines is indicated. Right – the relation between heliocentric radial velocity and residual intensity of a line expressed in percents of the continuum level for  $\beta$  Ori. Each mark corresponds to one line. Circles denote FeII and other ions of the iron group, the slanting crosses denote H I, He I, C II, N II, O II, the rhombs are S II, Mg II, Si II, Ca II. The horizontal line is the system velocity of the star  $V_{\text{sys}}=18.7$  km/s.

Из рисунка следует вывод о расширении атмосферы  $\beta$  Ori: все измеренные скорости меньше скорости звезды в целом,  $V_{\text{sys}}=18.7$  км/с. Уверенно выявленные дифференциальные сдвиги групп

From the Figure the conclusion about expansion of atmosphere of  $\beta$  Ori follows: all measured velocities are less than the velocity of the star on the whole,  $V_{\text{sys}}=18.7$  km/s. Differential shifts of line groups were

линий, формирующихся в разных слоях атмосферы, говорят о нарастании скорости расширения с высотой слоя:  $V_r(\text{HeI}) > V_r(\text{Si III}) > V_r(\text{Fe II})$ .

*Е.Л. Ченцов, В.Г. Клочкова, Т. Киппер (Эстония), Н.С. Таволжанская, В.Е. Панчук, М.В. Юшкин. Астрофиз. бюл., 66, 499 (2011).*

detected reliably, which means the increase of the expansion velocity with the level height:  $V_r(\text{HeI}) > V_r(\text{Si III}) > V_r(\text{Fe II})$ .

*E.L. Chentsov, V.G. Klochkova, T. Kipper (Estonia), N.S. Tavoljanskaya, V.E. Panchuk, M.V. Yushkin. Astrophys. Bull., 66, 466 (2011).*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕР МАССИВНЫХ ЗВЕЗД**

**MODELING OF MASSIVE STARS ATMOSPHERES**

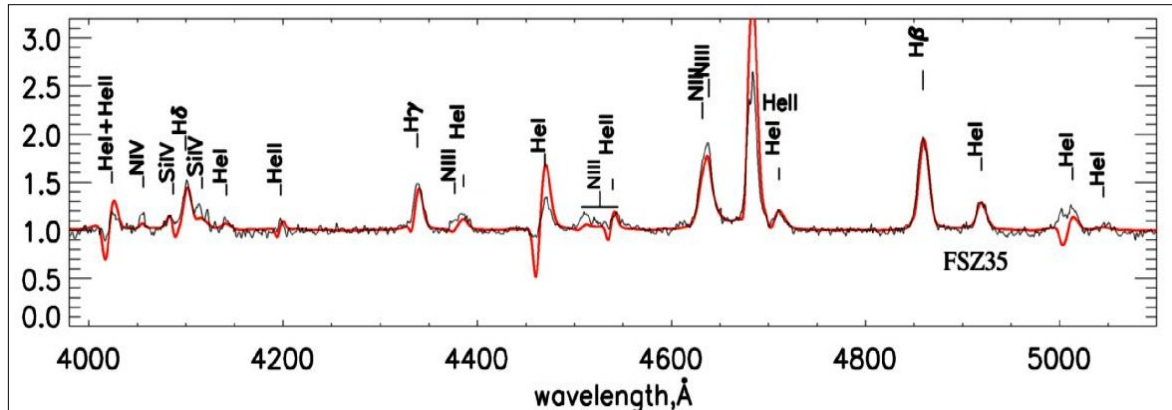


Рис. 30. Наблюдаемый (черная линия) и модельный (красная линия) спектр FSZ35.

Fig. 30. The observed (the black line) and modeled (the red line) spectrum of FSZ35.

Численное моделирование атмосфер ярких голубых переменных (Luminous Blue Variable - LBV) и эволюционно связанных с ними звезд Вольфа-Райе позволит лучше понять роль фазы LBV в эволюции массивных звезд. Известно, что у некоторых LBV в визуальном минимуме наблюдаются спектры, подобные спектрам звезд Вольфа-Райе азотной последовательности (WN).

The numerical modeling of atmospheres of Luminous Blue Variables (LBVs) and Wolf-Rayet stars which are related to them evolutionally will allow us understanding better the LBV phase in evolution of massive stars. It is known that in the visual minimum some LBVs show spectra similar to those of Wolf-Rayet stars of the nitrogen sequence (WN).

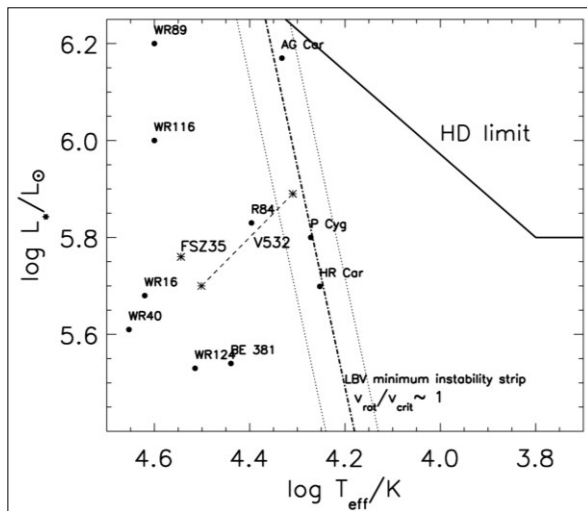


Рис. 31. Положение звезд FSZ35 и V532 (в разных фазах) на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. Штрих-пунктирной линией показана теоретическая полоса нестабильности для LBV-звезд в горячей фазе.

Fig. 31. Position of the stars FSZ35 and V532 (in different phases) in the Hertzsprung-Russell diagram. The dash-and-dot line shows the theoretical band of instability for LBV stars in the hot phase.

В предположении расширяющейся протяженной сферически симметричной атмосферы проведено моделирование (пакет CMFGEN, Дж. Хиллер) спектров (БТА/SCORPIO) малоизученной звезды FSZ35 в галактике M33 спектрального класса WNL. На рисунке 30 приведены наблюдаемый и модельный спектры. Мы классифицировали FSZ35 как WN8-звезду. Получены параметры атмосферы

Supposing expansion of extended spherically-symmetric envelope we modeled (with the CMFGEN package, J. Hiller) BTA/SCORPIO spectra of a poorly studied star FSZ35 in the galaxy M33 of the spectral class WNL.

The observed and modeled spectra are shown in Figure 30. We classified FSZ35 as a WN8 star. The following parameters of the FSZ35 atmosphere

FSZ35 - болометрическая светимость, радиус звезды, темп потери массы, скорость ветра, содержания элементов. Выполнено сравнение этих величин с параметрами других WN8-звезд, включая и LBV-звезду V532 в минимуме блеска (рис. 31). FSZ35 является богатой водородом WN8-звездой, так как массовая доля водорода составляет 16.5%, (H/He=0.8).

*О.В. Марьева, П.К. Аболмасов (ГАИШ).*

### СПЕКТРОСКОПИЯ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ULX-ИСТОЧНИКОВ

Впервые получены достаточно высокого качества спектры (Subaru, NAJO) оптических компонентов четырех ультраярких рентгеновских источников (UltraLuminous X-ray source, ULX) - Holmberg II X-1, Holmberg IX X-1, NGC 4559 X-7, NGC 5204 X-1, которые имеют одинаковые особенности - широкая эмиссионная линия HeII 4686Å, широкие линии водорода. Возможные объяснения: (1) присутствует донор типа WN как у Cyg X-3, (2) имеется аккреционный диск вокруг черной дыры промежуточной массы, излучающий собственную линию HeII, (3) присутствует сверхкритический аккреционный диск как у SS433.

Получены спектры (BTA/SCORPIO) оптических двойников ULX-объектов NGC 6946 ULX-1 и 4-х объектов во взаимодействующих галактиках NGC 4490/4485. Все 5 ультраярких рентгеновских источников оказались на расстояниях не более 200 пк от молодых звездных скоплений, тем самым подтвержден наш вывод, полученный по галактикам Antennae и NGC 3256, о связи ULX с молодыми скоплениями.

*С.Н. Фабрика, А.С. Винокуров (ГАИШ МГУ), О.Н. Шолухова, И. Уеда (Япония).*

Проведена фотометрия (HST) оптических и УФ-изображений семи ULX-источников: Holmberg II X-1, Holmberg IX X-1, NGC 4559 X-7, NGC 1313 X-1, NGC 6846 ULX-1, NGC 5204 X-1, NGC 5408 X-1. Построены спектральные распределения энергии (SED) от рентгеновского до ИК-диапазона. Оптические и УФ-светимости этих объектов оказались сравнимыми с их рентгеновскими светимостями. Используя подход Шакуры-Сюняева (1973) к описанию сверхкритических аккреционных дисков, мы построили модельные SED сверхкритических дисков. Все 7 наблюдаемых SED могут быть воспроизведены в этой простой модели. Найденные массы черных дыр находятся в диапазоне 10-40  $M_{\odot}$ , темпы аккреции в диапазоне 40-300 эддингтоновских.

*А.С. Винокуров (ГАИШ МГУ), С.Н. Фабрика.*

### СВЯЗЬ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ С МОЛОДЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ ЗВЕЗД

Изучено распределение ярких рентгеновских источников (со светимостью более  $10^{36}$  эрг/с) по телу

were obtained: bolometric luminosity, radius of the star, mass loss rate, velocity of wind, chemical abundance. These values were compared to parameters of other WN8 stars including the LBV star V532 in the minimum brightness (Fig.31). FSZ35 is a hydrogen-rich WN8 star because the mass fraction of hydrogen is 16.5%, (H/He=0.8).

*O.V. Marieva, P.K. Abolmasov (SAI MSU).*

### SPECTROSCOPY OF OPTICAL COMPONENTS OF ULX SOURCES

Sufficiently high-quality spectra were first obtained at Subaru (NAJO) for optical components of four Ultra Luminous X-ray (ULX) sources – Holmberg II X-1, Holmberg IX X-1, NGC 4559 X-7, NGC 5204 X-1, which have identical features – the wide emission line HeII 4686Å and wide hydrogen lines.

The following explanations are possible: (1) there is a donor of type WN as in the case of Cyg X-3, (2) there is an accretion disk around a black hole of intermediate mass emitting its own line HeII, (3) there is a supercritical accretion disk as in the case of SS433.

BTA/SCORPIO spectra of optical counterparts of ULX objects NGC 6946 ULX-1 and 4 objects in the interacting galaxies NGC 4490/4485 were obtained. All 5 Ultra Luminous X-ray objects turned out to be located at distances not more than 200 pc from young stellar clusters, which confirm our conclusion obtained from the galaxies Antennae and NGC 3256 about a connection between ULXs and young clusters.

*S.N. Fabrika, A.S. Vinokurov (SAI MSU), O.N. Sholukhova, I. Ueda (Japan).*

The photometry of optical (HST) and UV images of 7 ULX sources – Holmberg II X-1, Holmberg IX X-1, NGC 4559 X-7, NGC 1313 X-1, NGC 6846 ULX-1, NGC 5204 X-1, NGC 5408 X-1 – was carried out. Spectral Energy Distributions (SEDs) from X-ray to IR ranges were built. Optical and UV luminosities turned out to be comparable with their X-ray luminosities.

Using the Shakura-Syunaev approach (1973) to description of supercritical accretion disks we have built model SEDs of supercritical disks.

All 7 observable SEDs can be reproduced in this simple model. The estimated masses of black holes are within the range 10-40  $M_{\odot}$ , the accretion rates are within the range of 40-300 Eddington rates.

*A.S. Vinokurov (SAI MSU), S.N. Fabrika.*

### RELATION BETWEEN X-RAY SOURCES AND YOUNG STELLAR CLUSTERS

Distribution of bright X-ray sources (with luminosity higher than  $10^{36}$  erg/s) over the body of the galaxy M33

галактики М 33, а также исследованы возможные ассоциации этих источниками с другими типами объектов в М 33. Оказалось, что рентгеновские двойные никак не связаны со старыми шаровыми скоплениями, однако, имеется определенная связь с молодыми скоплениями и областями HII, причем рентгеновские двойные могут находиться на расстояниях до 300-400 пк от молодых скоплений или от областей HII. Найденная ассоциация подтверждает обсуждаемые сейчас идеи о выбросе рентгеновских двойных, как и обычных массивных звезд-бегунов, из скоплений.

*С.Н. Фабрика, А. Игошев (СПбГУ).*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИНИИ HeII 4686Å В СИСТЕМЕ SS 433

Изучена эмиссионная линия HeII 4686Å системы SS 433 (SUBARU, БТА). В профиле этой линии выделена «сверхширокая» компонента (FWHM~4000-5000 км/с), которая почти полностью пропадает во время затмений диска, а также две относительно узкие компоненты (350 км/с) и две широкие компоненты (800-900 км/с). Сверхширокая компонента формируется в результате электронного рассеяния, широкие компоненты формируются за пределами системы, они не участвуют в орбитальном движении, узкие компоненты перемещаются с орбитальной фазой, они могут быть использованы для измерения масс в системе.

Построена модель ветра сверхкритического аккреционного диска в системе SS 433 в приближении Шакуры-Сюняева и рассчитан профиль линии HeII 4686Å. Модель воспроизводит две узкие компоненты, которые формируются в истекающем ветре, а также изменения относительных интенсивностей этих компонент во время затмения звездой-донором.

*П.С. Медведев (ГАИШ МГУ), С.Н. Фабрика, В.В. Васильев (ГАИШ МГУ).*

### ПЕРЕМЕННОСТЬ SS433 ПО ДАННЫМ RXTE. ИЗЛУЧЕНИЕ КАНАЛА СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИСКА

Исследована синхронная (одновременные наблюдения) переменность блеска системы SS 433 в рентгеновском и оптическом диапазонах. Обнаружены корреляции переменности между этими диапазонами: оптическое излучение формируется в том же месте, где и жесткое рентгеновское излучение (8-20 кэВ), переменность оптического и жесткого рентгеновского излучений на 20-30 сек опережают переменность мягкого рентгеновского излучения (2-5 кэВ). Это подтверждает наши результаты (Отчет САО РАН 2009, с. 69) по анализу спектра SS 433 с XMM, в которых было найдено, что в диапазоне 2-5 кэВ излучает рентгеновская струя, тогда как в диапазоне >8 кэВ мы наблюдаем отраженное от стенок канала излучение, приходящее изнутри канала.

and possible associations of these sources with objects of different types in M33 were studied.

It turned out that X-ray binaries are not related in no way to old globular clusters, but there is a certain relation with young clusters and HII regions, and X-ray binaries can be located at distances up to 300-400 pc from young clusters or from HII regions.

The detected association confirms the ideas which are discussed now about ejection of X-ray binaries from clusters like usual massive runaway stars.

*S.N. Fabrika, A. Igoshev (SPbSU).*

### MODELING FORMATION REGION OF THE LINE HeII 4686Å IN THE SYSTEM SS 433

The emission line HeII 4686Å of the system SS433 was studied (SUBARU, BTA). In profile of this line we selected an «extra wide» (FWHM~4000-5000 km/s) component which disappears totally during eclipse of the disk, two relatively narrow components (350 km/s) and two wide components (800-900 km/s).

The extra wide component is formed due to electron scattering, the wide components are formed outside the system, they do not participate in the orbital motion, the narrow components move with the orbit phase, and they can be used to measure masses in the system.

A model of wind of the supercritical accretion disk in the system SS433 was built in the Shakura-Syunyaev approximation, and the line HeII 4686Å profile was calculated. The model reproduces two narrow components, which are formed in the out flowing wind, and the alterations of relative intensities of these components during the eclipse by the donor star.

*P.S. Medvedev (SAI MSU), S.N. Fabrika, V.V. Vasiliev (SAI MSU).*

### SS433 VARIABILITY ACCORDING TO RXTE DATA. EMISSION OF CHANNEL OF THE SUPERCRITICAL DISK

Synchronous variability of luminosity of the system SS433 was studied by simultaneous observations in X-ray and optical ranges.

A correlation of variability between these ranges was detected: optical emission is generated in the same area where the hard (8-20 keV) X-ray emission is generated. Variability of optical and hard X-ray emissions outstrips that of soft (2-5 keV) X-ray emission by 20-30 seconds.

This confirms our results (SAO RAS Report 2009, p. 69) on analysis of SS433 spectrum with XMM. Then it was discovered that it is the X-ray jet that emits in the range 2-5 keV, whereas in the range >8 keV we observe emission arriving to us through the channel and reflected from channel walls.

Оптическое и жесткое излучение есть, соответственно, флуоресцентное и отраженное излучение, приходящее от стенок канала сверхкритического аккреционного диска.

К.Е. Атапин (ГАИШ МГУ), С.Н. Фабрика.

### КОМПАКТНЫЙ КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ SS 433 ОКАЗАЛСЯ НЕЙТРОННОЙ ЗВЕЗДОЙ

В работе К. Куботы и др. (Отчет САО РАН 2009, с. 68) приведена оценка массы релятивистского компонента и звезды-донора в системе SS 433, полученная динамическим методом по лучевым скоростям донора. Она составила  $1.9-4.9 M_{\odot}$  у компактного объекта и  $12.4 \pm 1.9 M_{\odot}$  у звезды-донора, т.е. релятивистский объект в системе - черная дыра малой массы. После открытия в спектре SS 433 абсорбционных линий донора, по которым он отнесен к звезде спектрального класса A4-A8, можно оценить массу компактного компонента по зависимости «масса-светимость» для A-звезд.

Optical and hard emissions are, respectively, fluorescent emission and reflected one arriving from walls of the channel of the supercritical accretion disk.

K.E. Atapin (SAI MSU), S.N. Fabrika

### THE COMPACT COMPONENT OF THE SS433 SYSTEM TURNED OUT A NEUTRON STAR

The paper by K. Kubota et al. (SAO RAS Report 2009, p. 68) gives the estimation of mass of the relativistic component and donor star in the SS433 system obtained by the dynamical method from radial velocities of the donor. It is equal to  $1.9-4.9 M_{\odot}$  for the compact object and  $12.4 \pm 1.9 M_{\odot}$  for the donor star. Thus, the relativistic object in the system is a black hole of small mass. Upon discovering absorption lines of the donor in the spectrum of SS433 by which it was attributed to the star of the spectral class A4-A8, it is possible to estimate mass of the compact component from the relation «mass-luminosity» for A stars.

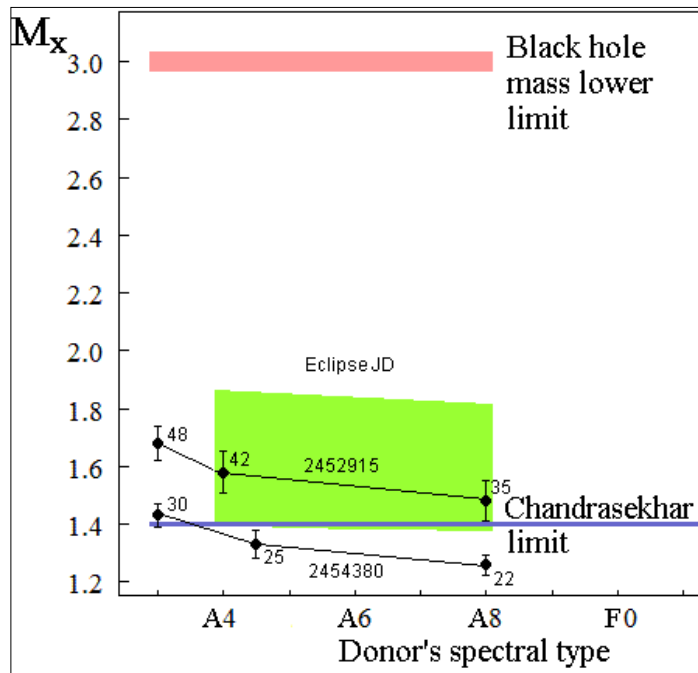


Рис. 32. Оценки массы компактного компонента в системе SS 433 в зависимости от спектрального класса звезды-донора. Область спектроскопических решений обозначена зеленым, кружками - фотометрические решения для масс, определенных по двум затмениям, цифры около кружков указывают вклад донора в полосу V в общий блеск системы в затмении в процентах. Красная линия сверху – нижний предел масс кандидатов в черные дыры, определенный из наблюдений. Синяя линия внизу – верхний предел массы белых карликов (предел Чандрасекара).

Fig. 32. Estimation of mass of the compact component of the SS433 system versus spectral class of the donor star. The area of spectroscopic solutions is colored in green; circles are photometric solutions for masses determined by two eclipses; numbers near circles indicate the donor contribution in the V band into the total luminosity of the system during eclipse in percents. The red line at the top is the lower limit of mass of candidates to black holes determined from observations. The blue line at the foot is the upper limit of masses of white dwarfs (the Chandrasekhar limit).

Для системы уверенно определен спектроскопическим методом вклад A-звезды в суммарный блеск в затмении  $0.36 \pm 0.07$  в полосе V, известно расстояние 4.85-5.50 кпс (VLBI), а также

The contribution of the A star in the total luminosity in the eclipse  $0.36 \pm 0.07$  in V band was reliably determined by the spectroscopic method, the distance 4.85-5.50 kpc (VLBI) and the ratio of masses of components



отношение масс компонентов  $q=M_X/M_A=0.15$  (GINGA, RXTE/ASM).

Для оценки величины поглощения и фотометрического вклада звезды-донора в затмении проанализированы данные (SUBARU, БТА, Цейсс-1000) международной программы наблюдений SS 433 в 2007 г. (JD2454380) в разных фазах затмения и вне его, а также фотометрические наблюдения (Цейсс-1000) в затмении (2003 г., JD2452915).

Получена оценка межзвездного покраснения  $E(B-V)=2.65^m \pm 0.03^m$  и следующие параметры звезды-донора: вклад в затмении 22-42% в фильтре  $V$ , абсолютная величина  $M_V=-5.8^m:-5.1^m$ , радиус 50-80  $R_\odot$  и масса - 8.3-11.0  $M_\odot$ . Масса компактного компонента  $M_X$ , определяемая только из фотометрии, составляет  $1.45 \pm 0.20 M_\odot$ . Оценки массы компактного компонента зависят от принятого спектрального подкласса А-звезды (рис. 32), но все они близки к чандрасекаровскому пределу. Масса релятивистского компонента  $M_X \geq 3 M_\odot$  находится в противоречии с фотометрическими данными, поскольку приводит к завышенным светимостям звезды-донора, не соответствующим наблюдаемой фотометрической переменности SS 433. При современном уровне данных и знаний о SS 433 наличие в этой системе нейтронной звезды следует прямо из открытия в спектре линий звезды спектрального класса А4-А8.

*В.П. Горанский (ГАИШ МГУ), Е.А. Барсукова. Переменные звезды, 31, 1 (2011).*

## ИССЛЕДОВАНИЯ LBV-ЗВЕЗД

Яркие голубые переменные (LBV) - массивные яркие нестабильные звезды, у которых наблюдаются эпизодические выбросы вещества в межзвездную среду. Изучение фундаментальных параметров этих звезд (светимость, температура, радиус фотосферы), а также параметров их ветров, позволит выяснить причину нестабильностей этого класса звезд и определить их эволюционный статус.

Продолжаются исследования списка кандидатов в LBV (Отчет САО РАН 2007-2008, с. 87; Отчет САО РАН 2010, с. 62). Получены 16 спектров (БТА/SCORPIO) звезд в М33 из нашего списка кандидатов в LBV и повторно проведены наблюдения (оптика и ИК-диапазон) 10 наилучших кандидатов. Обнаружено, что 4 звезды из числа кандидатов можно надежно классифицировать как LBV-звезды. Для окончательного подтверждения этой классификации необходимо исследовать переменность их блеска.

*О.Н. Шолухова, С.Н. Фабрика, А.Ф. Валеев, Д. Бизяев (США).*

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ LBV-ЗВЕЗДЫ V532 В ГАЛАКТИКЕ М33

Детально исследована спектральная и фотометрическая переменность LBV-звезды V532 в галактике М33. Показано, что переменность спектра

$q=M_X/M_A=0.15$  (GINGA, RXTE/ASM) are known.

To estimate the extinction value and photometric contribution of the donor star in the eclipse we analyzed SUBARU, BTA and Zeiss-1000 data of the international program of observation of the SS433 system in 2007 (JD2454380) in different phases of the eclipse and beyond it, and also photometrical Zeiss-1000 observations in the eclipse of 2003 (JD2452915).

We obtained estimation of the interstellar reddening  $E(B-V)=2.65^m \pm 0.03^m$  and the following parameters of the donor star: the contribution into eclipse 22-24% in the B band, the absolute magnitude  $M_V=-5.8^m:-5.1^m$ , the radius 50-80  $R_\odot$  and the mass 8.3-11.0  $M_\odot$ . Mass of the compact component  $M_X$ , which can be determined only from photometry, is  $1.45 \pm 0.20 M_\odot$ . Estimations of the mass of the compact component depend on the accepted spectral subclass of the A star (Fig. 32), but all of them are close to the Chandrasekhar limit.

The mass of the relativistic component  $M_X \geq 3 M_\odot$  contradicts photometrical data because it leads to overestimated luminosity of the donor star which does not correspond to observed photometric variability of SS433.

At the modern level of data and knowledge on SS433, the presence of the neutron star in this system is a direct consequence of discovery of lines of a star of the spectral class A4-A8 in spectrum.

*V.P. Goransky (SAI MSU), E.A. Barsukova. Variable stars, 31, 1 (2011).*

## THE STUDY OF LBV STARS

Luminous Blue Variables (LBV) are massive bright unstable stars with sporadic ejections of matter into interstellar medium.

The study of fundamental parameters (luminosity, temperature, photosphere radius) and parameters of their winds will allow us establishing the cause of instability of stars of this class and determining their evolution status.

The study of candidates to LBVs listed in SAO RAS Report 2007-2008, p. 87; SAO RAS Report 2010, p. 62, goes on.

We obtained 16 BTA/SCORPIO spectra of stars in M33 from our list of candidates to LBVs, and 10 best candidates were re-observed in optical and IR ranges.

It was detected that 4 candidate stars can be reliably classified as LBV stars. The final confirmation of this classification demands the study of their brightness variability.

*O.N. Sholukhova, S.N. Fabrika, A.F. Valeev, D. Bizyaev (USA).*

## SPECTRAL VARIABILITY OF THE LBV STAR V532 IN THE GALAXY M33

Spectral and photometrical variability of the LBV star V532 in the galaxy M33 was studied in detail. It was shown that the V532 spectrum variability (from

V532 (от WN8.5h до WN11) полностью соответствует изменениям температуры ее фотосферы. По классификационным диаграммам Crowther&Smith (1997) мы изучили эволюцию V532 совместно с эволюцией LBV AG Car и массивной двойной WN-системой HD5980 в галактике SMC. По всем спектрам измерена скорость ветра V532 как разница между эмиссионным и абсорбционным пиками в профилях типа PCyg. Обнаружено, что скорость ветра V532 явно зависит от размера фотосферы звезды, то есть от величины визуального блеска, с уменьшением блеска скорость расширения ветра возрастает. В состоянии абсолютного минимума блеска найден кинематический разрез атмосферы V532. Ближе к фотосфере (HeII 5412) ветер расширяется со скоростью 330-350 км/с, далее от фотосферы (HeI) скорость ветра 400-470 км/с, в более высоких слоях (H-дельта) скорость 700-730 км/с. Из этого следует, что скорость ветра возрастает наружу по мере ускорения ветра, и температура ветра в протяженной атмосфере V532 падает с расстоянием от звезды.

*О.Н. Шолухова, С.Н. Фабрика, А.В. Жарова (ГАИШ МГУ), А.Ф. Валеев, В.П. Горанский (ГАИШ МГУ), В.-Р. Хаманн (Германия), Л.М. Оскинова (Германия). Астрофизический бюллетень, 64, 135 (2011).*

#### АКТИВНОСТЬ CI CAM

Продолжаются исследования система CI Cam (Отчет САО РАН 2007-2008, с. 88), которая состоит из звезды B4 III-V[e] и белого карлика. В системе в апреле 1998 г. произошла мощная вспышка, вызванная взрывом водорода на поверхности белого карлика. В течение 13-летнего послевспышечного мониторинга системы были выявлены медленная квазипериодическая переменность ее блеска, изменения блеска белого карлика с периодом 19.407<sup>d</sup> и пульсации В-звезды в двух модах с периодами 0.26<sup>d</sup> и 0.42<sup>d</sup>. Орбитальный период 19.407<sup>d</sup> наблюдается и в спектрах звезды, так доплеровское смещение с амплитудой 500 км/с с этим периодом обнаружено в эмиссии HeII 4686Å. Эта эмиссия, очевидно, принадлежит аккреционному диску около белого карлика. Со временем эквивалентная ширина эмиссионной линии HeII уменьшалась, и в последние годы она регистрировалась в спектрах редко. Узкие эмиссионные линии водорода, HeI и тяжелых элементов не показывают изменений лучевых скоростей с периодом орбиты. Эти линии излучаются в некеплеровском диске B[e]-звезды.

В 2011 г. блеск звезды достиг максимума ( $V=11.62^m$ ) за весь период наблюдений после вспышки. В конце 2011 г. линия HeII 4686Å (BTA/SCORPIO/NES) была зарегистрирована вновь с эквивалентной шириной 0.4:-0.7Å (рис. 33, внизу). Еще в апреле-мае наблюдалась необычная вспышка (в максимуме  $V=11.46^m$ ), чего ранее у CI Cam не наблюдалось. На кривой блеска (рис. 33,верху) через 19 суток после максимума последовал вторичный максимум. Фазы максимумов блеска, вычисленные от орбитальных фотометрических

WN8.5h to WN11) corresponds to alteration of its photosphere temperature.

On basis of the Crowther&Smith classification diagrams (1997) we studied evolution of V532 together with evolution of the LBV AG Car and the massive binary WN system HD5980 in the galaxy SMC. The V32 wind velocity was measured in all spectra as a difference between emission and absorption peaks in type PCyg profiles.

It was discovered that the V532 wind velocity obviously depends on size of the star atmosphere, i.e. on the visual luminosity; the wind expansion velocity increases as luminosity decreases. A kinematic cut of the V532 atmosphere was found in the state of absolute minimum. Closer to photosphere (HeII 5412) the wind expands at a velocity of 330-350 km/s, farther from photosphere (HeI) the wind velocity is 400-470 km/s, in high layers (H delta) the velocity is 700-730 km/s.

From that it follows that the wind velocity increases outward as the wind accelerates and that the wind temperature in the extended atmosphere of V532 falls with distance from the star.

*O.N. Sholukhova, S.N. Fabrika, A.V. Zharov (SAI MSU), A.F. Valeev, V.P. Goransky (SAI MSU), V.-P. Hamann (Germany), L.M. Oskinova (Germany). Astrophysical Bulletin, 65, 135 (2011).*

#### ACTIVITY OF CI CAM

Study of the system CI Cam (SAO RAS report 2007-2008, p. 88) consisting of a B4 III-V[e] star and a white dwarf goes on. In April 1998 a powerful flare occurred which was caused by explosion of hydrogen on surface of the white dwarf.

During the 13-year after-flare monitoring of the system we detected a slow quasi-periodic variability of its luminosity, alteration of luminosity of the white dwarf with a period of 19.407<sup>d</sup> and pulsations of the B star in two modes with the periods 0.26<sup>d</sup> and 0.42<sup>d</sup>.

The orbital period of 19.407<sup>d</sup> is also observed in spectra of the star. So, the Doppler shift of amplitude 500 km/s with this period is detected in the emission HeII 4686Å. This emission apparently belongs to the accretion disk near the white dwarf.

The equivalent width of the emission line HeII was decreasing with time, and in recent years it was rarely registered in spectra. Narrow emission lines of hydrogen, HeI and heavy elements do not show alterations of radial velocities with orbital period. These lines are emitted in the non-Keplerian disk of the B[e] star.

In 2011 the star luminosity reached maximum ( $V=11.62^m$ ) of all period of observation after the flare. In the end of 2011 the line HeII 4686Å (BTA/SCORPIO/NES) was registered again with the equivalent width 0.4:-0.7Å (Fig. 33 bottom). Also in April-May an unusual flare ( $V=11.46^m$  in maximum) occurred, which was never observed in CI Cam before. In the light curve a secondary maximum appeared 19 days after the first one (Fig. 33 top).

Phases of luminosity maximums calculated by orbital photometrical elements are 0.89 and 0.88 respectively.

элементов, составляют, соответственно, 0.89 и 0.88. Это позволяет уточнить орбитальный период  $19.395^d \pm 0.005^d$ .

This permits specifying the orbital period as  $19.395^d \pm 0.005^d$ .

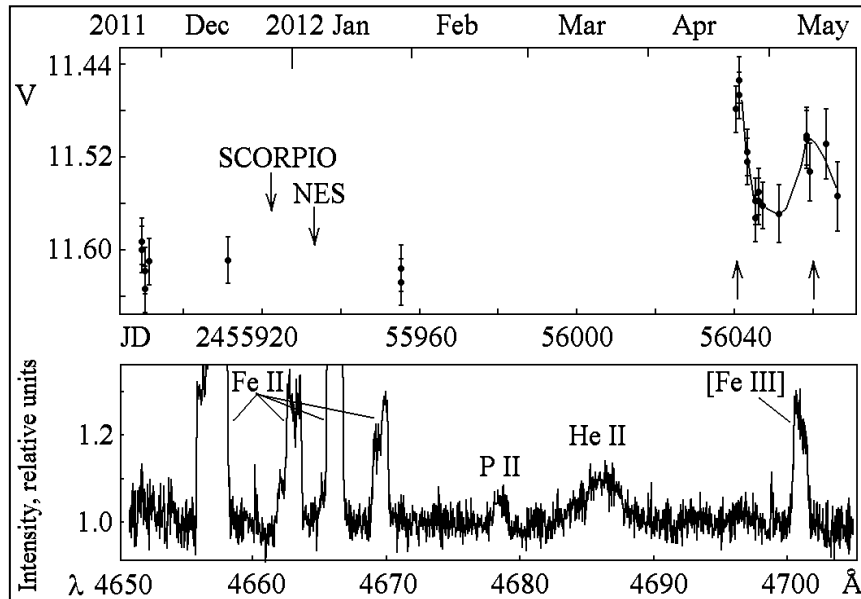


Рис. 33. Вверху – кривая блеска CI Cam в полосе V. Стрелками вверху отмечены даты получения спектров, в которых видна эмиссия HeII 4686Å. На том же рисунке справа – вспышка, и стрелками отмечены моменты максимумов блеска. Внизу – фрагмент спектра (БТА/НЭС) в окрестностях эмиссии He II. Отождествлены также эмиссии оболочки B[e]-звезды.

Fig. 33. At the top – the CI Cam light curve in V band. Up arrows mark dates when spectra with the visible emission HeII 4686Å were obtained. On the right of the same picture – the flare; arrows mark moments of luminosity maximums. At the bottom – a fragment of spectrum (BTA/NES) in vicinity of the emission He II. Emission lines of envelope of the B[e] star are also identified.

Из наших наблюдений следует, что в системе CI Cam происходит эпизод формирования плотной оболочки или диска около B[e]-звезды. При прохождении вторичного компонента - белого карлика с его аккреционным диском через наиболее плотные слои этой оболочки или диска B[e]-звезды в периастре орбиты в результате взаимодействия между ними выделяется значительная энергия и появляется дополнительный источник света.

*Е.А. Барсукова, А.Н. Буренков, А.Ф. Валеев, В.Е. Панчук, М.В. Юшкин; В.П. Горанский (ГАИШ МГУ), Н.В. Метлова (ГАИШ МГУ).*

From our observations it follows that in the system CI Cam the episode of forming a dense envelope around the B[e] star is occurring. When the secondary component – the white dwarf with its accretion disk – passes through the densest layers of this envelope or the B[e] star disk, considerable energy is released in the orbit periastron due to interaction between them, and an additional source of light appears.

*E.A. Barsukova, A.N. Burenkov, A.F. Valeev, V.E. Panchuk, M.V. Yushkin, V.P. Goransky (SAI MSU), N.V. Metlova (SAI MSU).*

## МАГНИТНЫЕ ЗВЕЗДЫ

### МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ЗВЕЗД ВОЛЬФА-РАЙЕ

Проведены спектрополяриметрические наблюдения (БТА/МСС) двух звезд Вольфа-Райе WR 135 (WC8) и WR 136 (WN6) для изучения быстрой переменности профилей линий (HeII 5412Å, CIV 5469Å) и поиска магнитных полей. Обнаружены эмиссионные пики малой амплитуды, перемещающиеся от центра к крыльям HeII в течение ночи. Эти пики, вероятно, указывают на ускоряемые звездным ветром облака. Получены верхние пределы величин глобальных магнитных полей двух звезд Вольфа-Райе, WR 135 (WC8) и WR136 (WN6), 200 и 50 Гс соответственно.

## MAGNETIC STARS

### MAGNETIC FIELDS OF WOLF-RAYET STARS

Spectropolarimetric observations were fulfilled with BTA/MSS for two Wolf-Rayet stars WR 135 (WC8) и WR 136 (WN6). The aim was to study fast variability of profiles of the lines HeII 5412Å, CIV 5469Å and to look for magnetic fields. We detected emission peaks of small amplitude shifting from center to wings of HeII during a night. Probably, these peaks indicate accelerating clumps in the stellar wind.

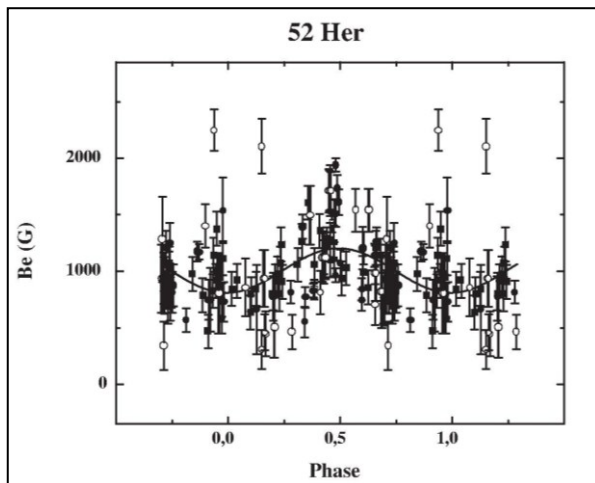
We obtained the upper limits 200 and 50 Gs of global magnetic fields of two Wolf-Rayet stars WR 135 (WC8) and WR136 (WN6) respectively. These are the world

Это самые низкие пределы, которые были получены в мире до настоящего времени.

*А.Ф. Холтыгин (СПбГУ), С.Н. Фабрика, Н. Русомаров (СПбГУ); В.Р. Хаманн (Германия), Д.О. Кудрявцев; Л.М. Оскинова (Германия), Г.А. Чунтонов. Astronomische Nachrichten, 332, 1008 (2011).*

### МАГНИТНОЕ ПОЛЕ AP-ЗВЕЗДЫ 52 HER

У этой известной магнитной звезды предполагалось наличие долгопериодической переменности магнитного поля. 15-летний мониторинг и анализ литературных данных показали отсутствие переменности магнитного поля с амплитудой более 200 Г на масштабах от года до 60 лет, что свидетельствует также об отсутствии прецессии оси вращения главного компонента двойной системы 52 Her. Уточнен период переменности интенсивности линии KCaII -  $3.86122^d$ , который предположительно является периодом вращения главного компонента. По линиям металлов получены параметры магнитной фазовой кривой. Уточнены оценки  $V_e \cdot \sin(i) = 17 \pm 0.6$  km/s и угла  $i = 36.0^\circ \pm 1.4^\circ$ .



Найдено существенное различие в параметрах магнитной переменности по измерениям в крыльях водородных линий и по линиям металлов. Показано, что отношение энергии магнитного поля к энергии механического вращения очень мало, т.е. нет энергетических ограничений на возможную работу динамо-механизма генерации магнитных полей. На рисунке 34 представлена средняя магнитная фазовая кривая, полученная по всей совокупности измерений.

*В.Д. Бычков, Л.В. Бычкова, Ю. Мадей (Польша), А.А. Панферов (Тольятти).*

### HD 182255

Проведено спектрофотометрическое исследование этой звезды SiHe-wk-типа. На поверхности обнаружены четыре области вблизи экватора вращения с аномальным содержанием химических элементов. По спектроскопическим свойствам - это типичная магнитная звезда, однако магнитное поле у

lowest limits obtained so far.

*A.F. Kholtygin (SPbSU); S.N. Fabrika; N. Rusomarov (SPbSU); W.-R. Hamann (Germany); D.O. Kudryavtsev; L.M. Oskanova (Germany); G.A. Chountonov. Astronomische Nachrichten, 332, 1008 (2011).*

### MAGNETIC FIELD OF THE AP STAR 52 HER

It was supposed that magnetic field of this famous magnetic star has long-period variability.

The 15-year monitoring and analysis of literature data showed absence of variability of magnetic field with amplitude more than 200 Gs on scales from 1 to 60 years, which testifies also the absence of precession of rotation axis of the main component of the binary system 52 Her.

The period of intensity variability of the line KCaII was specified –  $3.86122^d$ . Presumably this is the rotation period of the main component.

Parameters of the magnetic phase curve were obtained from metal lines. Estimations of  $V_e \cdot \sin(i) = 17 \pm 0.6$  km/s and the angle  $i = 36.0^\circ \pm 1.4^\circ$  were specified.

*Рис. 34. Изменение  $B_e$  с фазой периода, полученное по всем измерениям линий металлов.*

*Fig. 34. Alteration of  $B_e$  with the period phase obtained from all measurements of metal lines.*

It was detected that parameters of magnetic variability measured by wings of hydrogen lines and by metal lines differ considerably. It was shown that the ratio of magnetic field energy to mechanic rotation energy is very small, i.e. there are no restrictions to a possible work of dynamo mechanism of magnetic field generation.

Figure 34 represents an average magnetic phase curve obtained from the totality of measurements.

*V.D. Bychkov, L.V. Bychkova, Yu. Madey (Poland), A.A. Panferov (Togliatti).*

### HD 182255

The spectrophotometric study of this star of SiHe-wk type was carried out. Four areas were detected on the surface near rotation equator with anomalous content of chemical elements.

In its spectroscopic properties this is a typical magnetic star, but its magnetic field was not detected, probably

нее не обнаруживается, вероятно, из-за невыгодной ориентации с углом наклона  $i=12^\circ$ . Содержание гелия и кремния изменяется с глубиной, как и у типичных магнитных звезд. Найдены нерадиальные пульсации, а также нестационарные изменения структуры атмосферы.

*Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов.*

#### HD 5797 и HD 40711

Выполнено комплексное исследование химически peculiarных звезд HD 5797 и HD 40711. Они имеют одинаковую эффективную температуру (около  $8900^\circ\text{K}$ ), похожий химический состав с большим избытком железа (+1.5 dex) и хрома (+3 dex) по сравнению с Солнцем. Типичный избыток редкоземельных элементов достигает +3 dex. Выполнены измерения магнитного поля звезды HD 5797. Установлено, что величина продольной составляющей поля меняется синусоидально от -100 Гс до +1000 Гс с периодом 69 суток. Оценка эволюционного статуса звезд свидетельствует, что HD 5797 и HD 40711 - старые объекты возрастом 500 млн.лет находятся вблизи окончания стадии горения водорода в ядре.

*Е.А. Семенко, Л.И. Кичигина, Е.Ю. Кучаева.*

#### HD 21699

Исследована (БТА/ОЗСП) структура атмосферы магнитной звезды HD 21699 в области магнитных полюсов и между ними, где обнаруживается экстремальное магнитное поле и сильный градиент поля по поверхности и вглубь. Правомерен вопрос о возникновении в таких областях нестационарных явлений и нарушения термодинамического равновесия. Для HD 21699 найдена нормальная структура атмосферы, что свидетельствует об отсутствии в последней нестационарных магнитогидродинамических процессов, что магнитное поле бессильное, оно заморожено в звездное вещество и стабилизирует атмосферу, подавляя микро- и макро- турбуленции. Нарушений термодинамического равновесия нет.

*Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов, А.В. Шаврина (Украина).*

#### ПОИСК МАГНИТНЫХ CP-ЗВЕЗД

Обнаружено (БТА/ОЗСП с зеemanовским анализатором) 20 новых магнитных CP-звезд из 330 кандидатов, отобранных нами из звезд с большими депрессиями. Измерены магнитные поля звезд в области водородной линии  $H_\gamma$ . Зеemanовские сдвиги в этой линии показывают меньшую величину поля, чем при анализе V-параметров Стокса и линиям металлов. Величина различий неодинакова для разных звезд, но в среднем по линии водорода поле на 30% меньше, чем по линиям металлов. Не обнаружено инструментальных причин, которые могли бы привести к такому эффекту. По-видимому, для большинства магнитных CP-звезд мы

because of its unfavorable orientation with the angle of inclination  $i=12^\circ$ .

The content of helium and silicon changes with depth, as in typical magnetic stars. Non-radial pulsations and non-stationary changes of atmosphere structure were detected.

*Yu. V. Glagolevsky, G. A. Chuntunov.*

#### HD 5797 and HD 40711

Complex study of chemically peculiar stars HD 5797 and HD 40711 was carried out. They have identical effective temperature (about  $8900^\circ\text{K}$ ), similar chemical composition with a large excess of iron (+1.5 dex) and chromium (+3 dex) in comparison with the Sun. The typical excess of rare-earth elements reaches +3 dex.

Magnetic field of the star HD 5797 was measured. It was established that the value of longitudinal component of the field changes sinusoidally from -100 Gs to +1000 Gs with a period of 69 days. Estimation of the evolution status of the stars testifies that HD 5797 and HD 40711 are old objects of the age 500 billion years and they are near the end of the stage of hydrogen burning in core.

*E. A. Semenko, L. I. Kichigina, E. Yu. Kuchaeva.*

#### HD 21699

BTA/MSS was used to study the atmospheric structure of the magnetic star HD 21699 in the region of magnetic poles and between them, where extreme magnetic field and strong gradient of field on the surface and depthward were detected.

A question arises about non-stationary phenomena and thermodynamic disequilibrium in such regions.

It was found that the atmospheric structure of HD 21699 is normal, which testifies absence of non-stationary magneto-hydrodynamic processes in it and the fact that the magnetic field is forceless.

It is frozen in the stellar matter and stabilizes atmosphere suppressing micro and macro turbulences. There is no violation of thermodynamic equilibrium.

*Yu. V. Glagolevsky, G. A. Chuntunov, A. V. Shavrina (Ukraine).*

#### SEARCH FOR MAGNETIC CP STARS

20 new magnetic CP stars were found with the BTA/MSS Zeeman analyzer from 330 candidates selected from stars with large depressions. Magnetic fields of stars were measured in region of the hydrogen line  $H_\gamma$ . Zeeman shifts in this line show a lower value of field than when analyzing the V Stokes parameter and metal lines.

The differences are unequal in different stars, but on the average the field is 30% less from hydrogen lines than from metal lines.

We did not find any instrument reasons which could make such an effect.

Apparently, we observe the radial gradient of field – the

наблюдаем радиальный градиент поля - уменьшение величины поля с высотой.

*Д.О. Кудрявцев, И.И. Романюк, Е.А. Семенко.*

### МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД

На основе подготовленной по литературным данным выборки из 360 объектов начата программа исследования магнитных полей горячих звезд. Поскольку в спектрах горячих звезд отсутствуют депрессии континуума, являющиеся индикаторами магнитного поля, для отбора кандидатов использовался предложенный нами критерий - наличие аномалий в содержании гелия.

Получено (БТА/ОЗСП) около 70 спектров для 40 горячих CP-звезд с аномальными линиями гелия. Впервые магнитное поле обнаружено у 8 объектов. Исследована также известная магнитная звезда HD 35298 с детализацией спектров по фазе периода вращения. У нее обнаружены большие величины продольного поля (до 6 кГс в экстремуме), а также сложные профили линий, свидетельствующие о сложном магнитном поле.

*И.И. Романюк, И.А. Якунин, Д.О. Кудрявцев, Е.А. Семенко.*

### ПАРАМЕТРЫ CP-ЗВЕЗД

Проанализированы наблюдательные данные за последние 15-20 лет о магнитных полях и физических параметрах CP-звезд. Оказалось, что на БТА выполнено около трети всех измерений магнитных полей CP-звезд в мире.

Традиционные представления о химически peculiarных звездах как о стабильных объектах с замороженными атмосферами нуждаются в пересмотре. У магнитных звезд обнаружены быстрые (на временах 5-15 мин.) пульсации блеска и лучевых скоростей, стратификация химических элементов, радиальный градиент магнитного поля. Была найдена связь между слабыми аномалиями в распределении энергии магнитных CP-звезд и величиной поля на их поверхности. Анализ профилей Q и U - параметров Стокса у некоторых звезд показал, что они имеют магнитное поле очень сложной структуры, которое не описывается мультиполями низких порядков.

*И.И. Романюк.*

### СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОДИНОЧНЫХ РАДИОПУЛЬСАРОВ

Завершено исследование статистических свойств выборки из 270 одиночных радиопульсаров с известными первыми и вторыми производными частоты вращения. Предложена модель замедления их вращения, состоящая из двух компонент, монотонной и долговременной циклической, и определены их параметры (рис. 35). Показано, что монотонная составляющая замедления описывается классическим магнетодипольным степенным законом с показателем торможения  $n \sim 3$ , а большая

decrease of field with height.

*D.O. Kudryavtsev, I.I. Romanyuk, E.A. Semenko.*

### MAGNETIC FIELD OF HOT STARS

A program on the study of magnetic field of hot stars was started on the basis of a sample of 360 objects selected by us from literature data.

Since spectra of hot stars do not contain depressions of continuum which is the indicator of magnetic field, we suggested a new criterion for selection of candidates – anomalies in the helium content.

About 70 BTA/MSS spectra were obtained for 40 hot CP stars with anomalous helium lines. Magnetic field was first detected in 8 objects. We also studied the famous magnetic star HD 35298 with detailed spectra in different rotation period phases. The large longitudinal field (up to 6 kGs in extremum) and complex line profiles were detected in it, which indicates a complex magnetic field.

*I.I. Romanyuk, I.A. Yakunin, D.O. Kudryavtsev, E.A. Semenko.*

### PARAMETERS OF CP STARS

Observational data on magnetic fields and physical parameters of CP stars obtained during recent 15-20 years with different telescopes of the world were accumulated and analyzed. It turned out that about a third of all measurements of magnetic fields of CP stars was fulfilled with BTA. Traditional notions about chemically peculiar stars as of stable objects with frozen atmospheres demand revision.

Magnetic stars showed fast (on the times 5-15 minutes) pulsations of brightness and radial velocities, stratification of chemical elements, radial gradient of magnetic field.

A relation between weak anomalies in energy distributions of magnetic CP stars and the field value on their surface was discovered. The analysis of profiles of the Q and U Stokes parameters of some stars showed that the structure of their magnetic field is very complicated; it cannot be described by multipoles of low orders.

*I.I. Romanyuk.*

### STATISTICAL PROPERTIES OF SINGLE RADIO PULSARS

The study of statistical properties of a sample of 270 single radio pulsars with known first and second derivatives of revolution frequency was finished.

We suggested a model of their spinning-down consisting of two components – a monotonous one and long-term cyclic one – and determined their parameters (Fig. 35) It was shown that the monotonous component of spinning-down is described by the classical magnetodipole power law with the slowing-down index  $n \sim 3$ , and that the large amplitude of the cyclic

величина амплитуды циклической составляющей обуславливает существенное изменение наблюдаемого темпа замедления (по отношению к магнитодипольному), а также полностью определяет наблюдаемые anomalous значения вторых производных и показателей торможения. Важным следствием наличия циклической компоненты вариаций вращения пульсаров является отличие характеристических возрастов пульсаров в 0.5-5 раз от их секулярных значений. Это позволяет объяснить наблюдаемые расхождения между характеристическими и реальными возрастами некоторых объектов, а также очень большие значения, вплоть до  $10^8$  лет, характеристических возрастов некоторых старых пульсаров.

component causes a considerable change of the observed spinning-down rate (with respect to the magnetodipole one) and completely determines observed anomalous values of the second derivatives and slowing-down indexes.

An important consequence of the cyclic component of pulsar revolution variations is the fact that the characteristic ages of pulsars differ 0.5-5 times from their secular values.

This allows us explaining the observed discrepancy between characteristic and real ages of some objects and also the very large values, up to  $10^8$  years, of characteristic ages of some old pulsars.

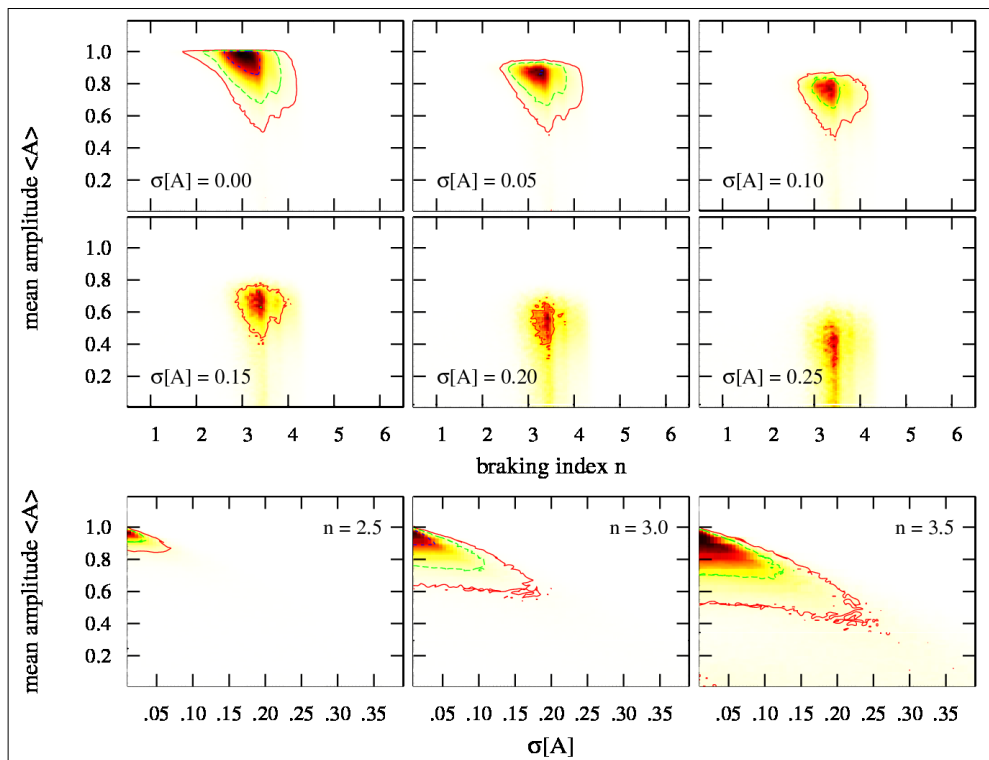


Рис. 35. Доверительные области для параметров замедления радиопульсаров - эволюционного показателя торможения  $n$ , средней относительной амплитуды вариаций первой производной  $\langle A \rangle$  и её разброса  $\sigma_A$ , полученные методом максимального правдоподобия. Области показаны в виде набора срезов пространства параметров при фиксированных  $\sigma_A$  (верхняя часть) и  $n$  (нижняя). Замкнутые контуры ограничивают, соответственно, 65, 95 и 99% доверительные интервалы (99% интервалу соответствует самый внешний контур на всех рисунках). Значения эволюционного показателя торможения  $n$ , средней амплитуды вариаций  $\langle A \rangle$  и её разброса  $\sigma_A$  лежат в интервалах  $n \sim 2.5-4$ ,  $\langle A \rangle > 0.5$  и  $\sigma_A < 0.25$ .

Fig. 35. Confidence ranges for radio pulsar spinning-down parameters – the evolutionary spinning-down index  $n$ , the average relative amplitude of variation of the first derivative  $\langle A \rangle$  and its dispersion  $\sigma_A$ , obtained by the maximum likelihood method. The ranges are shown as a set of cuts of the parameter space with fixed  $\sigma_A$  (the upper part) and  $n$  (the lower part). Closed contours confine 65, 95 and 99% confidence intervals respectively (the most external contour in all images corresponds to the 99% confidence interval). Values of the evolutionary spinning-down index  $n$ , average variation amplitude  $\langle A \rangle$  and its dispersion  $\sigma_A$  lie within the ranges  $n \sim 2.5-4$ ,  $\langle A \rangle > 0.5$  and  $\sigma_A < 0.25$ .

Предложена физическая модель, объясняющая циклическую компоненту наблюдаемого замедления долговременной прецессией нейтронной звезды вокруг её магнитной оси, которая, в частности, может быть обусловлена действием «аномального»

We suggested a physical model explaining the cyclic component of the observed spinning-down by a long-term precession of a neutron star around its magnetic axis, which, in particular, can be caused by the action of «anomalous» slowing-down moment. In the model of a

тормозящего момента. В модели чисто магнитодипольного замедления, такой момент является следствием излучения в ближней зоне.

*А.В.Бирюков (ГАИШ МГУ), Г.М.Бескин, С.В.Карпов. Астрофизический бюллетень, 66, 478 (2011).*

purely magneto-dipole spinning-down such a moment is a consequence of emission in the near zone.

*A.V. Biryukov (SAI MSU), G.M. Beskin, S.V. Karpov, Astrophysical Bulletin, 66, 478 (2011).*

### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ С ИЗВЕСТНЫМИ Z

### STATISTICAL ANALYSIS OF GAMMA-RAY BURSTS WITH KNOWN Z

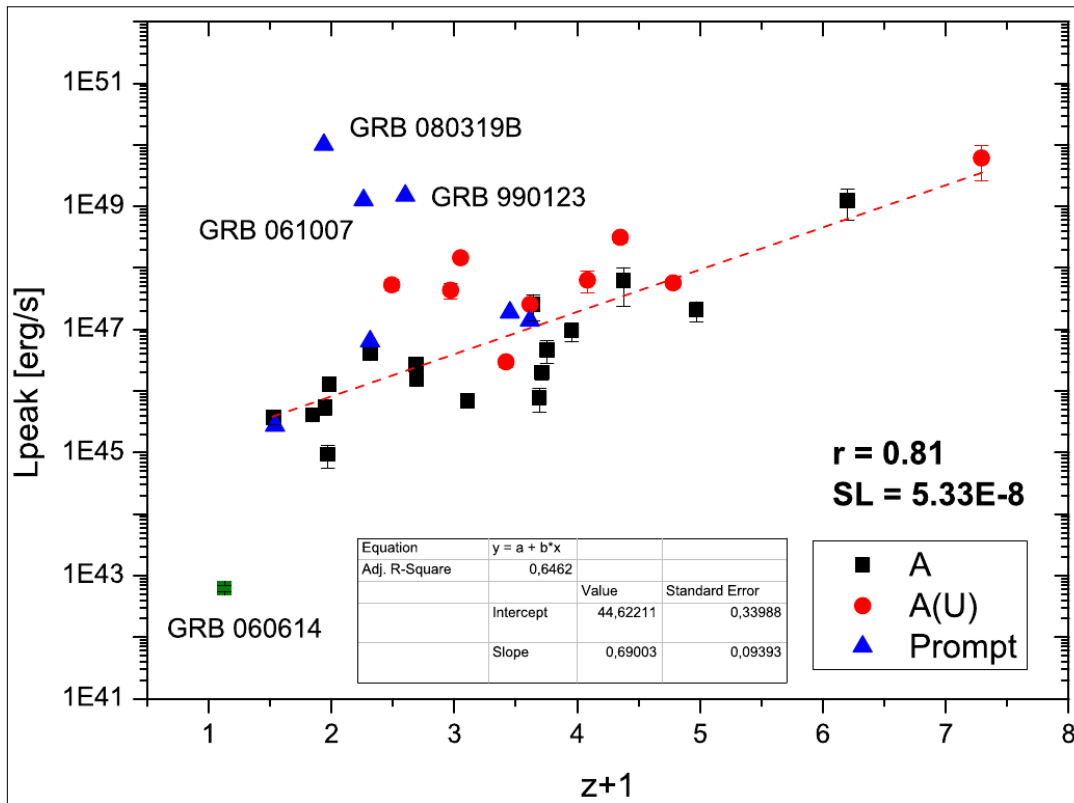


Рис. 36. Зависимость максимальной светимости оптического послесвечения от красного смещения для различных подвыборок гамма-всплесков – таких, у которых оптический пик приходится на период гамма-активности (Prompt), на фазу остаточной гамма-активности (A(U)) и на фазу отсутствия гамма-излучения (A).

Fig. 36. Relation between maximum luminosity of optical afterglow and red shift for different samples of gamma-ray bursts: those with the optical peak falling to the period of gamma-ray activity (Prompt), to the phase of residual gamma-ray activity (A(U),) and to the phase of absence of gamma-ray emission (A).

Проведен статистический анализ выборки из 40 гамма-всплесков с известными красными смещениями, оптические кривые блеска послесвечений которых имеют максимумы. В этой совокупности объектов были выделены следующие подвыборки. Послесвечения «промпт», P – оптическое излучение которых (и прежде всего – его максимум) было зарегистрировано в основной фазе гамма-всплеска, послесвечение, сопровождающееся остаточным гамма-излучением A (U) (12 явлений) и, наконец, «чистые» послесвечения A (20 явлений). Получены наборы всевозможных парных корреляций гамма и оптических характеристик объектов, некоторые из которых являются значимыми. Особенно важным является обнаружение связи между оптической светимостью в максимуме послесвечения и красным смещением

A sample of 40 gamma-ray bursts with known red shifts and maximum in their optical light curve of afterglows was statistically analyzed.

The following subsamples were selected in this collection of objects: «prompt» afterglows (P) – the objects whose optical emission (first of all, its maximum) was registered in the main phase of the gamma-ray burst; afterglows A(U) accompanied by residual gamma-ray emission (12 phenomena) and, finally, A – «pure» afterglows (20 phenomena).

Sets of various pair correlations between gamma-ray and optical characteristics of the objects were obtained. Some of them are significant. The detection of a relation between optical luminosity in the afterglow maximum and red shift of objects (the correlation coefficient 0.8) in the combined sample A+A (V) is especially



объекта (коэффициент корреляции 0.8) в комбинированной выборке A+A (V). Причем для подвыборки P эта корреляция отсутствует (рис. 36), что свидетельствует о возможном обнаружении космологической эволюции среды в областях локализации длинных гамма-всплесков.

G.M. Beskin.

**МОНИТОРИНГ МАССИВНЫХ СВЕРХНОВЫХ И ГАММА-ВСПЛЕСКОВ**

В 2011 г. по программе спектрального и фотометрического мониторинга массивных сверхновых (Отчет САО РАН 2010, с. 55) были проведены наблюдения нескольких массивных сверхновых и гамма-всплесков на БТА, Цейсс-1000, а также Цейсс-2000 и Цейсс-600 (ТФ ИНАСАН) и двух 32-м радиотелескопах ИПА РАН.

Помимо основных объектов программы были проведены успешные срочные наблюдения и мониторинг 3 кандидатов в сверхновые (CSS110628:220857+200440, CSS110703:220042-081542, MLS111020:015841+062400), а также 8 гамма-всплесков, включая GRB 110807A, с наблюдениями вспышки мягкого рентгеновского репитера SGR 1834.9-0846 и кандидата в оптические транзиенты GRB 111022B, возможно с большим z.

**НАБЛЮДЕНИЯ ПЕКУЛЯРНОГО ГАММА-ВСПЛЕСКА GRB 110801A**

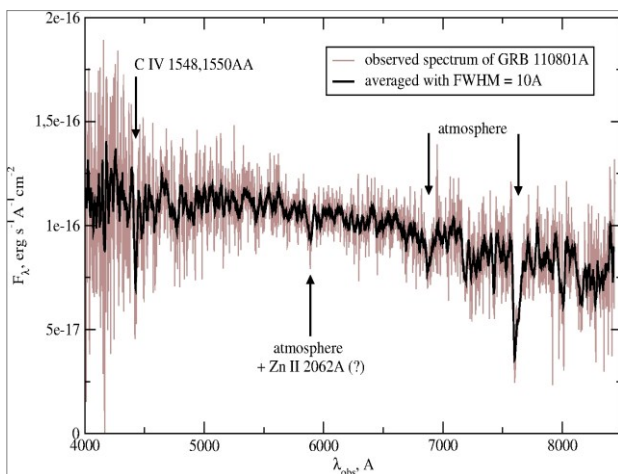


Рис. 37. Слева - спектр оптического послесвечения GRB 110801A (БТА/SCORPIO), полученный через 4.5 часа после всплеска. Справа - поле гамма-всплеска GRB 110801A (БТА/SCORPIO), полученное в августе 2011 г. в фильтре Rc, время экспозиции 2100 сек. Качество изображения (FWHM) 1.2". Заметно, что объект выглядит двойным.

Fig. 37. Left – the BTA/SCORPIO spectrum of the optical afterglow of GRB 110801A obtained 4.5 hours after the burst. Right – the BTA/SCORPIO field of the gamma-ray burst GRB 110801A obtained in August 2011 in the Rc filter, the exposure time 2100 sec, the FWHM seeing 1.2". It is noticeable that the object seems binary.

Среди наблюдавшихся гамма-всплесков особо выделяется поярчавший за полчаса на 3<sup>m</sup> объект GRB 110801A (De Pasquale et al., GCN 12228), для которого был получен самый ранний спектр (рис. 37,

important.

Meanwhile there is no such a correlation in the subsample P (Fig. 36), which testifies a possible detection of cosmological evolution of medium in regions of localization of long gamma-ray bursts.

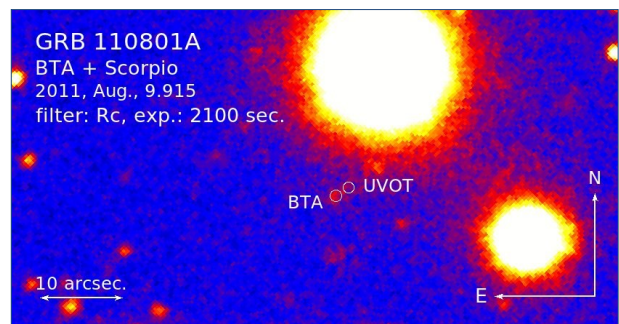
G.M. Beskin.

**THE MONITORING OF CORE-COLLAPSE SUPERNOVAE AND GAMMA-RAY BURSTS**

In 2011, under the program of the spectral and photometric monitoring of core-collapse supernovae (SAO RAS Report 2010, p. 55) several supernovae and gamma-ray bursts were observed with the SAO's telescopes BTA, Zeiss-1000, the telescopes Zeiss-2000 and Zeiss-600 of Terskol Branch of Institute of Astronomy of RAS and two 32-m radio telescopes of Institute of Applied Astronomy of RAS.

Besides main objects of the program, successful follow-up observations and monitoring were carried out for 3 candidates to supernovae (CSS110628:220857+200440, CSS110703:220042-081542, MLS111020:015841+062400) and 8 gamma-ray bursts including GRB 110807A with observations of a burst of the soft X-ray repeater SGR 1834.9-0846 and the candidate to optical transients GRB 111022B with a possible large red shift.

**OBSERVATION OF THE PECULIAR GAMMA-RAY BURST GRB 110801A**

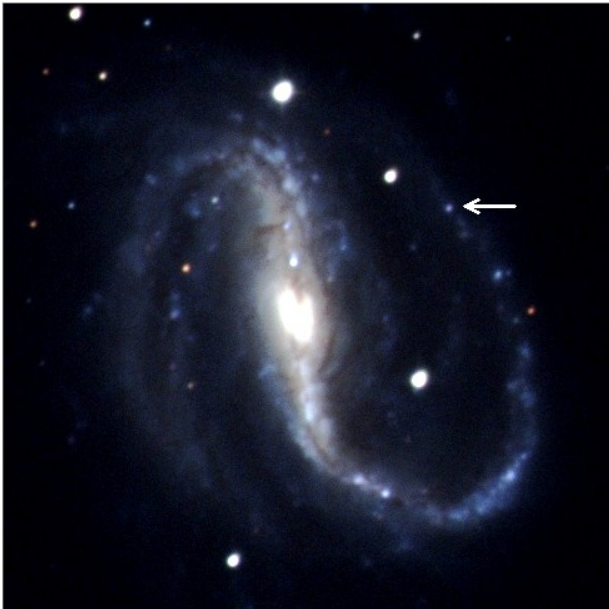


Among gamma-ray bursts observed during the last year the object GRB 110801A (De Pasquale et al., GCN 12228) outstands especially. Its luminosity increased by 3<sup>m</sup> during half an hour. The earliest spectrum was

слева), а позже - глубокое изображение в фильтре  $R_c$ , где рядом с оптическим транзиентом заметен протяжённый объект, возможно, родительская галактика (рис. 37, справа). Несмотря на низкое отношение сигнала к шуму, на нём заметен голубой избыток, что, совместно с другими наблюдательными данными, позволяет проследить эволюцию физических характеристик объекта. Оценки красного смещения ( $z=1.858$ ), сделанные в ходе последующих наблюдений на GTC (Cabrerera Lavers et al., GCN 12234), позволили идентифицировать одну самую заметную линию поглощения и в спектре БТА (Sokolov et al., GCN 12241). Объект наблюдался на GTC в фильтре  $r$ , и на БТА в  $BVR_cI_c$ .

*Москвитин А.С., Фатхуллин Т.А., Соколов В.В., Комарова В.Н., Соколова Т.Н.*

### СВЕРХНОВАЯ IC ТИПА SN 2009JF



Проведены наблюдения поздней фазы сверхновой Ic типа SN 2009jf, изучающейся совместно с индийской командой из института ARIES. В начале июня на БТА были получены прямые изображения в фильтрах  $BVR_c$  (рис. 38) и спектр, покрывающий весь оптический диапазон. Отмечено практически полное отсутствие вклада в поток от этой близкой сверхновой, что позволяет перейти к изучению области галактики NGC 7479, где произошёл взрыв.

*А.С. Москвитин, Т.А. Фатхуллин, В.В. Соколов, В.Н. Комарова, Т.Н. Соколова, С.Б. Пандей, Р. Рой, Брайеш Кумар, Брижеш Кумар (Индия).*

obtained for it (Fig. 37, left), and in the later deep R image of it an extended object is noticeable, which probably is the host galaxy (Fig. 37, right).

In spite of a low signal/noise ratio, a blue excess is noticeable in it, which, in combination with other observational data, permits retracing evolution of physical characteristics of the object.

Estimations of red shift ( $z=1.858$ ), made in the course of subsequent observations with GTC (Cabrerera Lavers et al., GCN 12234), permitted identifying one the most visible absorption line in the BTA spectrum also (Sokolov et al., GCN 12241).

The object was observed with GTC in the  $r$  filter, and with BTA in  $BVR_cI_c$ .

*A.S. Moskvitin, T.A. Fatkhullin, V.V. Sokolov, V.N. Komarova, T.N. Sokolova.*

### THE TYPE IC SUPERNOVA SN 2009JF

*Рис. 38. Сверхновая Ic типа SN 2009jf в близкой галактике NGC 7479. Цветное изображение составлено из кадров в фильтрах  $BVR_c$  (телескоп Zeiss-1000 CAO РАН, 8 июля 2010).*

*Fig. 38. The type Ic supernova SN 2009jf in the nearby galaxy NGC 7479. The color image is composed from images in the  $BVR_c$  filters (the SAO RAS telescope Zeiss-1000, July 8, 2010).*

The late phase of the type Ic supernova SN 2009jf was observed in collaboration with the team of the Indian Institute ARIES. Direct  $BVR_c$  images (Fig. 38) and the spectrum covering the whole optical range was obtained with BTA in the beginning of June.

Practically total absence of contribution of this nearby supernova to flux was noted, which allows us starting the study of the region of the galaxy NGC 7479 where the explosion occurred.

*A.S. Moskvitin, T.A. Fatkhullin, V.V. Sokolov, V.N. Komarova, T.N. Sokolova, S.B. Pandey, R. Roy, Brajesh Kumar, Brijesh Kumar (ARIES, India).*