

Физика звезд

Уникальная двойная система в Трапедии Ориона

Интерферометрические наблюдения ярчайшей звезды θ^1 Ori C в комплексе звездообразования Трапедии Ориона, выполнявшиеся с 1997 года на телескопе БТА в видимом и инфракрасном диапазонах, позволили обнаружить двойственность звезды и вычислить параметры орбитального движения (рис. 38).

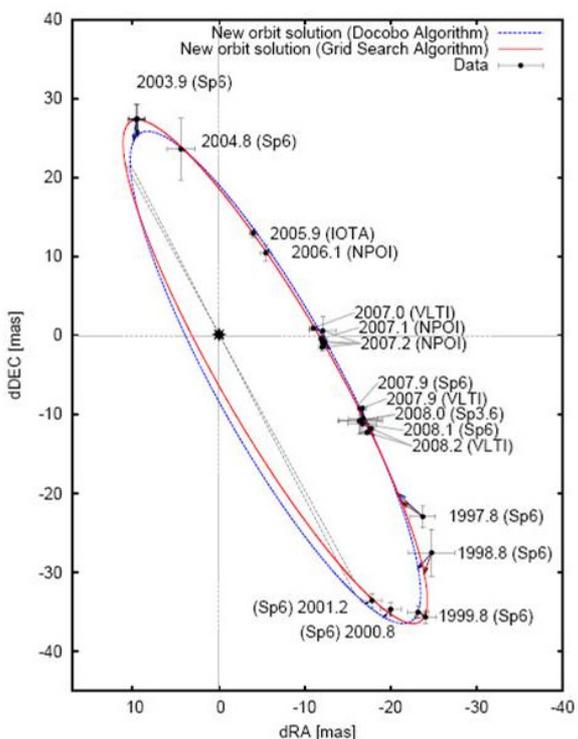


Рис. 38. Слева – измерения и вычисленные орбиты двойной θ^1 Ori C. В центре размещен главный компонент системы. Наблюдаемое положение более слабого компонента отмечено значками с указанием величины ошибки. Значком Sp6 обозначены спекл-измерения на БТА. Справа – интерферометрические изображения θ^1 Ori C, полученные с 1997 по 2008 гг. на разных телескопах.

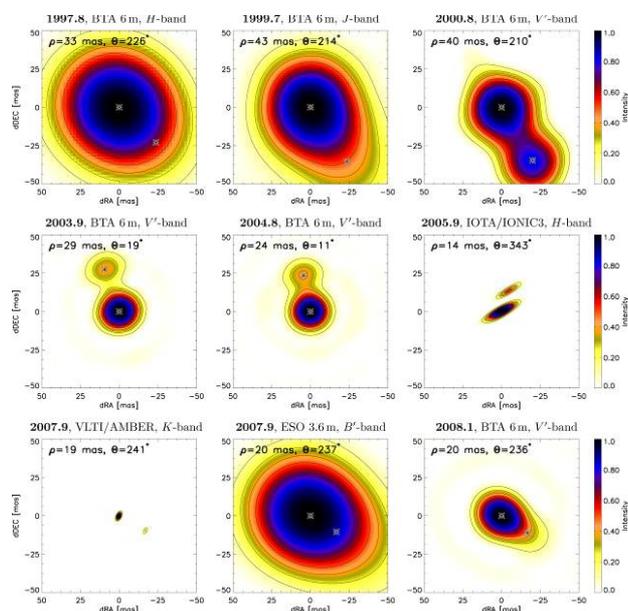
Fig. 38. Left: measurements and calculated orbits of the binary θ^1 Ori C. The primary component of the system is located at the centre. The observed locations of its fainter component are indicated by circles with error bars. The Sp6 signs mark the speckle observations on the BTA. Right: θ^1 Ori C interferometric images, obtained from 1997 to 2008 on different telescopes.

Было установлено, что эта пара горячих звезд с температурами фотосферы 40000 и 32000°K вращается вокруг общего центра масс по сильно вытянутой орбите (эксцентриситет – 0.6) с периодом 11.3 года. Молодая система (возраст всего ~100 тысяч лет) является основным источником ионизирующего излучения в туманности. Ее компоненты имеют массы ~34 и ~15 M_{\odot} . Их светимости превышают светимость Солнца соответственно в 250 тысяч и 48 тысяч раз. Расстояние до системы составляет 1400 световых

Stellar physics

Unique Binary System in the Orion Trapezium Cluster

Interferometer observations of θ^1 Ori C - the brightest star in the Orion Trapezium star formation region, that were conducted on the BTA in optical and infrared ranges since 1997, allowed to discover duplicity of the star and calculate the parameters of its orbital motion (Fig. 38).



We found that this pair of hot stars with photosphere temperatures of 40000 and 32000° K rotates around a common centre of mass on a highly eccentric orbit ($e \approx 0.6$) with a period of 11.3 yr.

A young system (aged just around 100 thousand yrs) is the main source of ionized radiation in the surrounding nebula. Its components have masses of about 34 and 15 M_{\odot} . Their luminosities are higher than solar by 250 and 48 thousand times.

The distance to the system is 1400 light years. The

лет. Измерения, выполненные в ИК-диапазоне на интерферометре VLTI/AMBER в Чили, позволили уточнить динамическую орбиту системы, массы, светимости и температуры звезд системы и определить их эволюционный статус. Установлено, что пара завершила один оборот по орбите с момента ее открытия в 1997 году на БТА.

Полученные результаты имеют важное значение для теории формирования массивных звезд и их эволюции.

Ю.Ю. Балега, Е.В. Малоголовец совместно с С. Краусом и др. (Германия). *Astron & Astrophys.*, **497**, 195 (2009).

Самая низкометалличная четверная система G89-14

Закончен спекл-интерферометрический обзор субкарликов с $[Fe/H] < -1$ в окрестностях Солнца $D < 250$ пк. Получены распределения орбитальных периодов и отношения масс компонентов двойных и кратных старых низкометаллических звезд.

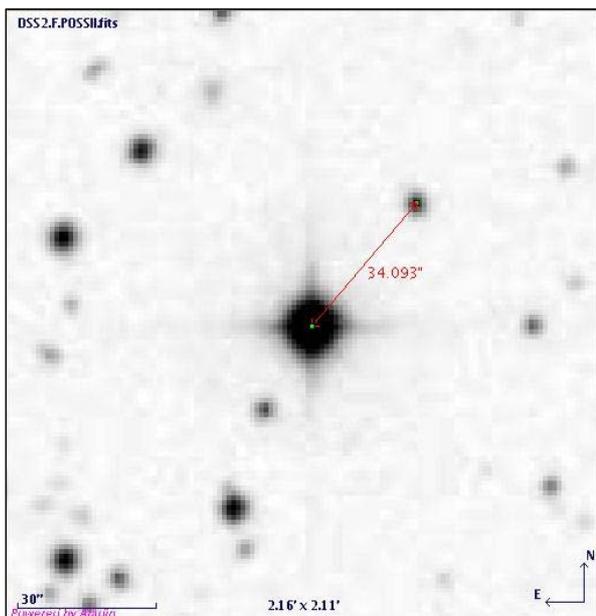


Рис. 39. Самая низкометалличная кратная система субкарликов G89-14. Слева — изображение открытой четверной системы. Тройная звезда в центре не разделяется на прямом снимке. Справа - схема иерархии и параметры G89-14.

Fig. 39. The most metal-poor multiple subdwarf system G89-14. Left: the image of the discovered quadruple system. The triple star at the centre does not resolve on the direct image. Right: hierarchy scheme and calculated parameters of G89-14.

На расстоянии ~ 170 пк от Солнца обнаружена система из четырех гравитационно-связанных субкарликов. Первоначально в системе G89-14 было известно два близких спектральных компонента А и В с периодом обращения 190^d . Позднее на расстоянии $34''$ обнаружили компонент D с общим собственным движением (рис. 39, слева). Мы открыли еще один компонент С у

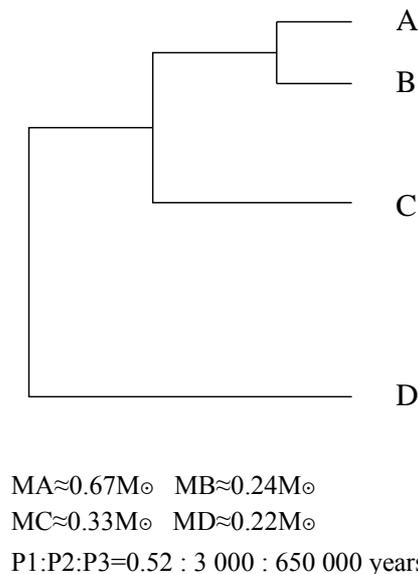
infrared range measurements, made on the VLTI/AMBER interferometer in Chile, allowed to refine the dynamical orbit of this system, the masses, luminosities and temperatures of the components, and to determine its evolutionary status. It was found that the companion has nearly completed one orbital revolution since its discovery in 1997 on the BTA.

The results obtained are very important and would contribute to the theories of formation and evolution of massive stars.

Yu.Yu. Balega, E.V. Malogolovets in collaboration with S. Kraus et al. (Germany). *Astron & Astrophys.*, **497**, 195 (2009).

The Most Metal-Poor Quadruple System G89-14

Speckle interferometric study of subdwarfs with $[Fe/H] < -1$ in the solar neighbourhood, $D < 250$ pc, is finished. We estimated the distributions of orbital periods and mass ratio of the components of old binary and multiple metal-poor stars.



At a distance of around 170 pc from the Sun, four gravitationally bound subdwarfs were discovered. Initially, in G89-14 there were known just two close spectroscopic, A and B, orbiting around each other with a period of about 190 days. Subsequently, at a separation of 34 arc seconds, there was found its companion D with common proper motion (Fig. 39, left). We discovered another companion of the spectroscopic binary,

спектрально-двойной системы. Он в 50 раз слабее спектральной пары и находится на расстоянии $<1''$ от нее. Объект G89-14 уникален тем, что он оказался самой низкометаллической четверной звездой. Содержание железа в атмосферах четырех субкарликов $[Fe/H] = -1.9$, что примерно в 100 раз ниже солнечного.

Таким образом, система образовывалась в среде с низким содержанием металлов на ранних этапах эволюции Галактики более 10 млрд. лет назад. Мы оценили массы компонентов и орбитальные периоды внешних подсистем G89-14. Их соотношение указывает на высокую иерархичность и устойчивость системы. Полученная орбита движения G89-14 позволяет отнести ее к гало Галактики. Существование подобных систем доказывает способность звезд высокой кратности сохраняться в результате динамической эволюции в течение временных периодов, сравнимых со временем жизни нашей Галактики.

Д.А. Растегаев, Ю.Ю. Балега, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец, В.В. Дьяченко. Письма АЖ, 35, 516 (2009).

ОТКРЫТИЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩЕГО ГАММА-ВСПЛЕСК GRB 080319B

Самый яркий из наблюдавшихся на данный момент гамма-всплесков GRB 080319B, имеющий собственное имя «всплеск, видимый невооруженным глазом», зарегистрирован с помощью камеры с широким полем зрения TORTORA. Впервые с высоким временным разрешением 0.13s (рис. 40) проведены наблюдения оптического компаньона гамма-всплеска в течение всего интервала (~60 сек.) активности GRB 080319B.

Кривые блеска в оптическом и гамма диапазонах коррелируют с коэффициентом 0.82 при запаздывании оптического излучения на 2 секунды. Кривая блеска показывает 4 равноудаленных (~9 сек.) максимума, что может свидетельствовать о периодической активности «внутренней машины» гамма-всплеска (рис. 40, справа). Оптическое излучение во время последнего пика также демонстрирует периодические (~1.12 сек.) колебания блеска с амплитудой ~10%. Столь быстрые вариации оптического блеска впервые обнаружены у астрономического объекта на космологическом расстоянии ($z = 0.937$).

Полученные результаты не находят естественной интерпретации в рамках современных моделей гамма-всплесков. Они требуют как существенного пересмотра сложившихся представлений о природе последних, так и продолжения поиска и детальных исследований (многоцветных и поляризационных) оптического излучения, сопровождающего гамма-всплески.

designated C. It is 50 times fainter than the spectroscopic pair and it is located at the angular distance less than 1 arc second from it. The uniqueness of G89-14 is that it is the most metal-poor quadruple system known to date. The atmospheric metal abundance in these four subdwarfs $[Fe/H] = -1.9$ is around 100 times lower than that of the Sun.

This indicates that the system was formed in the environment with low metal content at the moment when our Galaxy was born, i.e., more than 10 Gyr ago. We estimated the component masses and orbital periods of the outer subsystems of G89-14. The ratio of the orbital periods is indicative of its high degree of hierarchy and its internal dynamical stability. The constructed orbit of the system's motion suggests that G89-14 belongs to the Galactic halo population. The existence of objects like G89-14 proves the capability of stellar systems of high multiplicity to survive as a result of dynamical evolution during the time comparable to the age of our Galaxy.

D.A. Rastegaev, Yu.Yu. Balega, A.F. Maximov, E.V. Malogolovet, V.V. Dyachenko. Astronomy Letters, 35, 516 (2009).

DISCOVERY OF A FAST OPTICAL VARIABILITY FOLLOWING A GAMMA RAY BURST GRB 080319B

The brightest observed to date gamma-ray burst GRB 080319B, designated a «Naked-Eye Burst», was detected with the TORTORA wide-angle camera.

For the first time the observations of the optical companion of the gamma-ray burst within the whole interval of GRB 080319B activity (around 60 seconds) were made with high temporal resolution of 0.13 second (Fig. 40).

The light curves in optical and gamma frequency ranges correlate with coefficient of 0.82 with a 2 seconds lag in optical emission. The light curve shows 4 nearly equidistant (around 9 seconds) maxima, which may be indicative of the periodic activity of the internal machine of the gamma-ray burst (Fig. 40, right).

The optical emission at the time of the last flare also shows periodic (around 1.12 seconds) brightness variability with the amplitude of about 10%. Such a fast prompt optical emission variability of an object on the cosmological distance of $z = 0.937$ was discovered for the first time.

The obtained results do not find a natural interpretation within the framework of the current gamma-ray burst models.

They ask for both a substantial review of the existing perceptions about the nature of the latter, and a continuous search and detailed study (multi-colour and polarized) of the optical emission following gamma-ray bursts.

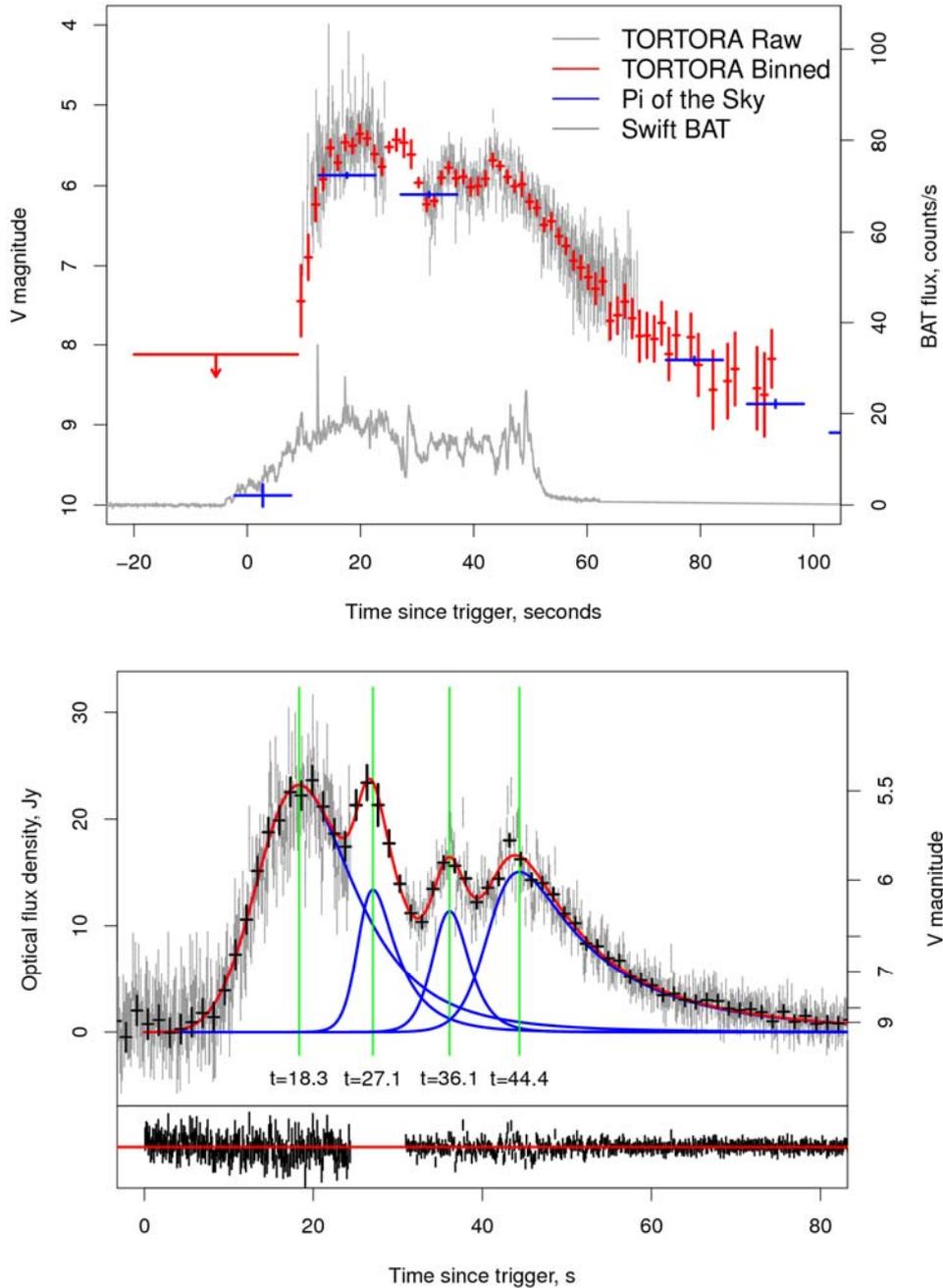


Рис. 40. Вверху - кривая блеска оптического транзиента, сопровождавшего GRB 080319B, по данным мониторинговой камеры высокого временного разрешения TORTORA в сравнении с результатами наблюдений космического гамма-телескопа Swift и камеры с широким полем зрения «Pi of the Sky» (Польша). Внизу - обнаруженные четыре равноудаленных пика кривой блеска (интервал ~ 9 сек.) указывают на периодическую активность центральной машины.

Fig. 40. Top: the light curve of the optical transient, following GRB 080319B, acquired by TORTORA high temporal resolution camera as compared to the data by the Swift space based gamma-ray telescope, and the «Pi of the Sky» (Poland) wide-angle camera observation results. Bottom: four discovered equidistant light curve peaks (an about 9 second interval) show the periodic activity of the central machine.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов, С. Бондарь
(ФГУП НИИПП) совместно с Г. Греко,
К. Бартолини, Е. Молинари и др. (Италия). *Nature*,
455, 183 (2008).

G.M. Beskin, S.V. Karpov, S. Bondar (Institute for
Precision Instrument Engineering) in collaboration with
G. Greco, C. Bartolini, E. Molinari et al. (Italy). *Nature*,
455, 183 (2008).

Гамма-всплески с оптическим послесвечением

Изучены статистические свойства 80-ти гамма-всплесков с оптическими послесвечениями, у которых определены красные смещения. Построены распределения характеристик всплесков в гамма и оптическом (полоса R) диапазонах. Анализ парных корреляций показал наличие статистических связей между максимальной светимостью и излученной энергией как у гамма-всплесков, так и у послесвечений.

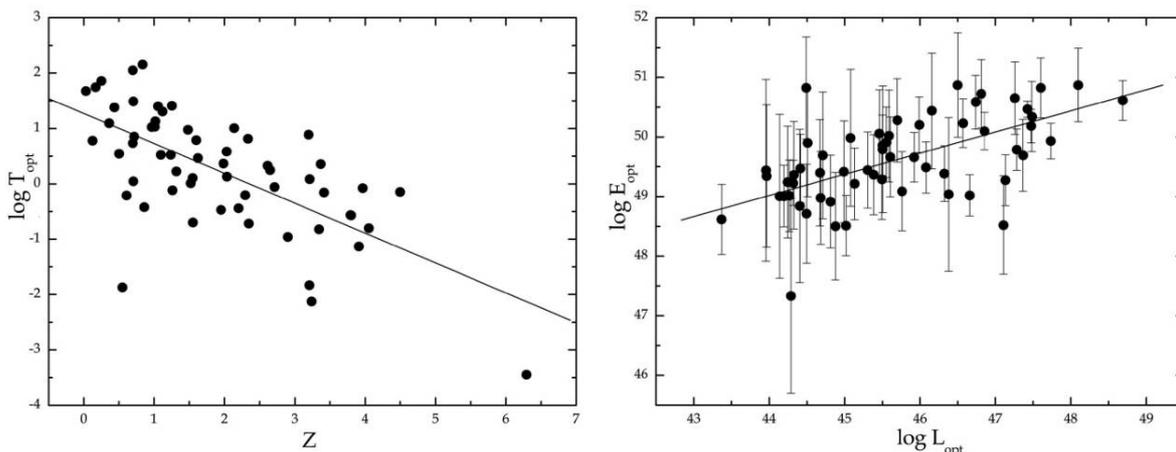


Рис. 41. Слева - корреляция между красным смещением и длительностью послесвечения гамма-всплесков ($R = -0.67$); справа – между излученной энергией послесвечения и светимостью в максимуме ($R = 0.71$).

Fig. 41. Left: correlation of the redshift and the duration of gamma-ray burst afterglows ($R = -0.67$); right: correlation of the emitted afterglow energy and the afterglow luminosity at the maxima ($R = 0.71$).

Обнаружена положительная корреляция между оптической светимостью послесвечения в максимуме и излученной энергией послесвечения, а также обратная корреляция с красным смещением (рис. 41). Они, по-видимому, свидетельствует о космологической эволюции параметров окружающей межгалактической среды.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПУЛЬСАРОВ

Ахроматические вариации профиля кривой блеска пульсара в Крабовидной туманности

Продолжены (Отчет САО РАН 2006, с. 55) исследования вариаций профиля и фазы оптических импульсов пульсара в Крабовидной туманности (БТА/МРРР) на различных временных шкалах. Для исследований использовались также данные, полученные на 4-м телескопе им. У. Гершеля (Канарские острова). Обнаруженные ранее на уровне $10 \mu s$ вариации моментов прихода импульсов на шкале порядка нескольких часов и вариации формы кривой блеска на масштабе нескольких лет имеют схожее поведение в различных спектральных полосах (рис. 42).

Gamma-Ray Bursts with Optical Afterglow

Statistical properties of 80 gamma-ray bursts (GRBs) with discovered afterglows and known redshifts were analyzed. The distributions of observational parameters in optical (the R-band) and gamma-ray ranges were studied. An analysis of pair correlations has shown a presence of statistical links between the maximal luminosity and the emitted energy both for the gamma-ray burst and the optical afterglows.

A positive correlation of the peak luminosity for afterglows with the redshift, and an anticorrelation of their durations with the redshift have been found for the first time (Fig. 41).

This effect can be explained by cosmological evolution of the surrounding intergalactic environment.

G.M. Beskin, S.V. Karpov.

PULSAR STUDIES

Achromatic Variations of the Crab Pulsar Light Curve Profile

The ongoing research (SAO RAS Annual Report 2006, p. 55) of profile and phase variations of the optical pulse of the Crab pulsar (BTA/Multicolor Panoramic Photometer-Polarimeter with high temporal resolution) on different time scales is in process. The observational data was as well collected on the 4-m William Hershel telescopes (Canary Islands).

The earlier detected at $10 \mu s$ pulse time of arrival variations on the scale of several hours, and the light curve shape variations on the time scale of years have a similar behaviour in different spectral bands (Fig. 42).

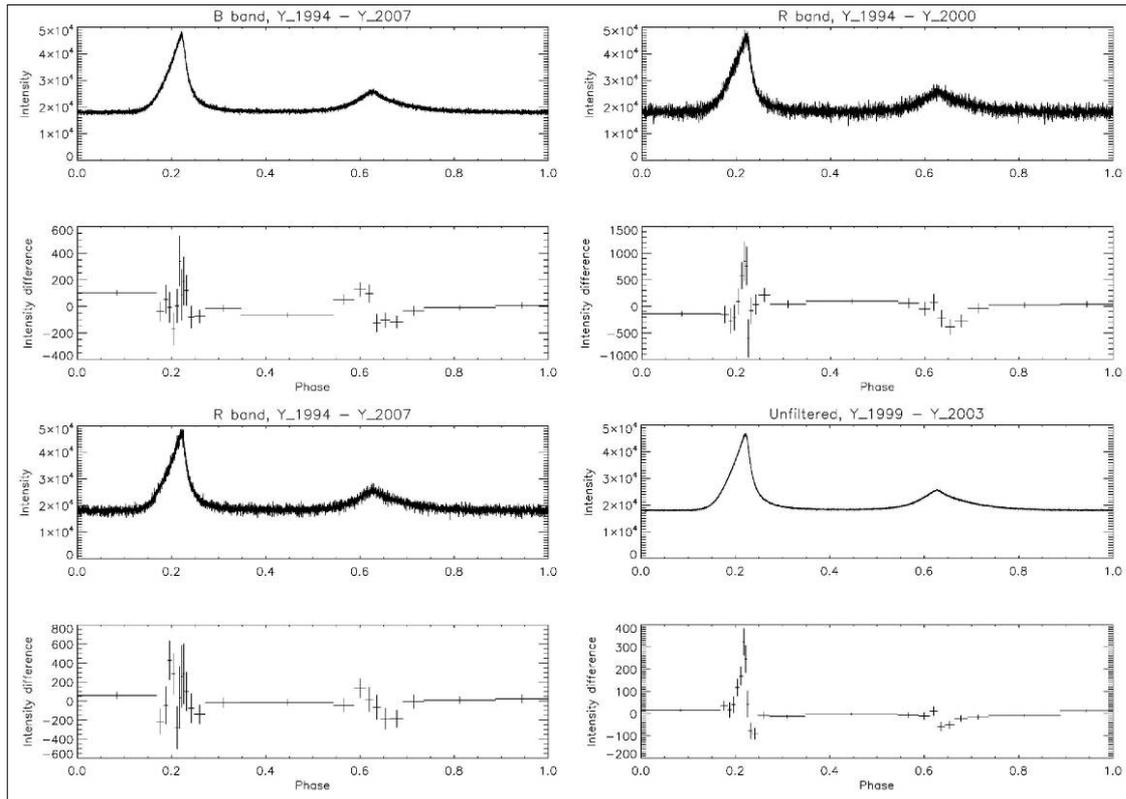


Рис.42. Изменение формы профиля оптической кривой блеска пульсара в Крабовидной туманности по результатам наблюдений в 1994, 1999, 2000, 2003, 2006 и 2007 гг.

Fig. 42. Change of the shape of the optical light curve of the Crab pulsar as a result of the 1994, 1999, 2000, 2003, 2006 and 2007 observations.

Отметим, что изменяется форма главного и вторичного пиков кривой блеска, а также расстояния между ними. Возможными объяснениями этого феномена являются либо изменение диаграммы направленности пульсара в результате долговременной прецессии с периодом $\sim 560^d$, либо перестройка структуры магнитосферы в результате вековой эволюции свойств пульсара.

Г.М. Бескин, В.Г. де Бур, С.В. Карпов, В.Л. Плохотниченко совместно с А. Бирюковым (ГАИШ МГУ) и А. Ширером (Ирландия). *Astrophysics and Space Science*, **308**, 595 (2007).

Радиопульсары с собственными движениями

Проведен анализ характеристик радиопульсаров с известными собственными движениями. Основная задача состояла в поиске мест их происхождения, где могут находиться как остатки родительских сверхновых, так и одиночные черные дыры – компаньоны пульсаров в распавшихся двойных системах. Разработан метод анализа траекторий пульсаров для определения координат мест их рождения.

Составлен каталог пульсаров с кинематическими характеристиками. Сопоставлены их возрасты и координаты возможных мест происхождения с возрастом известных остатков сверхновых. Обнаружены несколько пар объектов, чье прошлое

Note that the shape of the main and secondary peaks of the light curve changes, as well as the separation between them. The proposed explanations of discovered variations are the change of the pulsar's directivity pattern as a result of a long-term precession with the period of around 560 days, or a change in the structure of its magnetosphere as a result of an age-long evolution of the pulsar's properties.

G.M. Beskin, V.G. deBur, S.V. Karpov, V.L. Plokhotnichenko in collaboration with A. Biryukov. (SAI MSU) and A. Shearer (Ireland). *Astrophysics and Space Science*, **308**, 595 (2007).

Radio Pulsars with Proper Motions

An analysis of characteristics of the radio pulsars with measured proper motions is made. The primary aim was to find their birthplace, where the progenitor supernova remnants or isolated black holes – the pulsar companions in the split binary systems can be located. A method of pulsar trajectory analysis is elaborated to determine the pulsar birthplace coordinates.

A pulsar catalogue listing kinematical characteristics is built. Pulsar age and coordinates of possible birthplaces are compared with the age of known supernova remnants. Several pairs of objects are discovered, the past positions

положение может свидетельствовать об их принадлежности к распавшимся двойным системам.
 Г.М. Бескин, С.В. Карпов.

of which may indicate their appurtenance to the split binary systems.
 G.M. Beskin, S.V. Karpov.

Долговременная эволюция одиночных пульсаров

Long-term Evolution of Isolated Pulsars

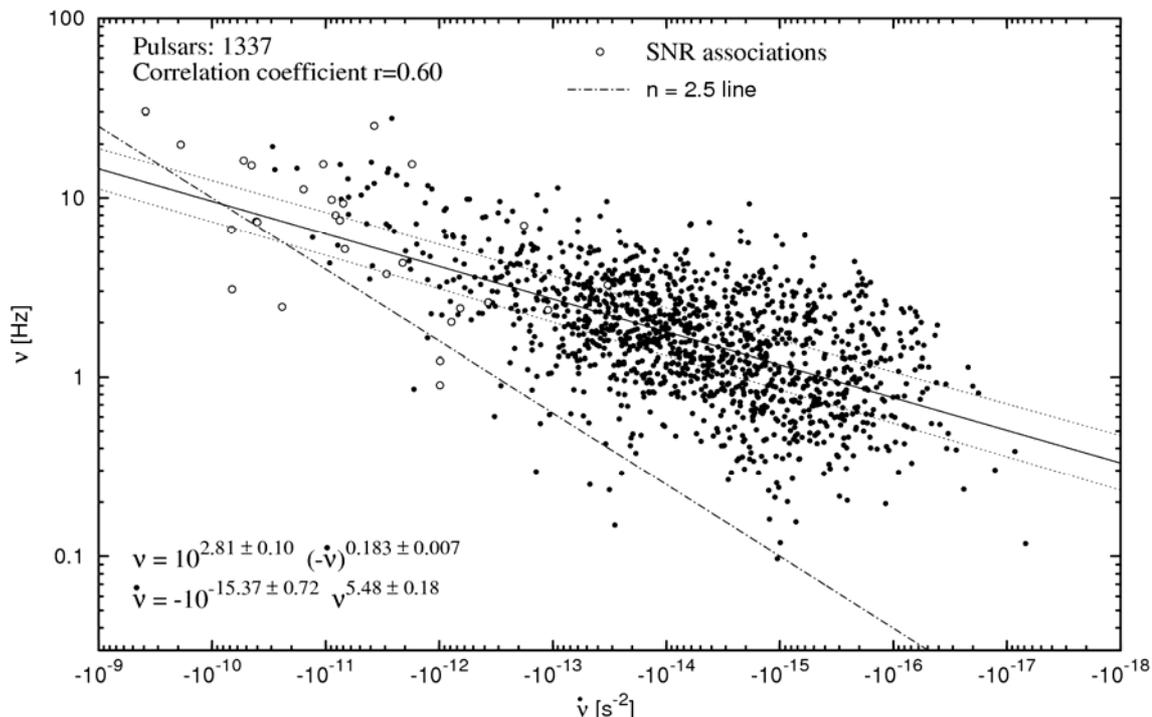


Рис. 43. Распределение радиопульсаров на плоскости «частота вращения - производная частоты». Показаны оптимальная аппроксимация, соответствующая индексу торможения порядка $n \sim 5$, и зависимость $n=2.5$, получаемая по молодым пульсарам (SNR-ассоциации).

Fig. 43. Radio pulsars distributions on the «rotation frequency-frequency derivative» plane. An optimal approximation is shown, corresponding to the spin-down index of around $n \sim 5$, and a dependence $n=2.5$, deduced on young pulsars (SNR-associations).

Продолжен (Отчет САО РАН 2006, с.56) статистический анализ параметров вращения радиопульсаров. Торможение вращения может быть описано двухкомпонентной моделью – вековой эволюцией с индексом, близким к 5 (значимо отличающимся от 3 для чисто дипольного механизма) и периодическими или стохастическими вариациями на временах 100-1000 лет с амплитудой, убывающей с возрастом пульсара. Этот сценарий подтверждается обнаруженной нами корреляцией между частотой и скоростью ее уменьшения в выборке из ~1400 одиночных пульсаров (рис. 43).

The ongoing statistical analysis (SAO RAS Annual Report 2006, p. 56) of the rotational parameters of radio pulsars is in progress. The pulsar spin-down may be interpreted by a two-component model - the long-term evolution according to the power law with $n \approx 5$ (which differs drastically from $n \approx 3$ for the purely dipole mechanism), and periodic or secular variations on the timescales of 100-1000 years with an amplitude decreasing nearly proportionally to the pulsars' age. This scenario is confirmed by the strong correlation between the frequency and velocity of its decrease in the sample of around 1400 isolated pulsars (Fig. 43).

Г.М. Бескин, С.В. Карпов совместно с А. Бирюковым (ГАИШ МГУ).

G.M. Beskin, S.V. Karpov in collaboration with A. Biryukov (SAI MSU).

Формирование черных дыр промежуточных масс

Formation of Intermediate-Mass Black Holes

Рассмотрен процесс формирования черных дыр промежуточных масс (ЧДПМ) $10^2-10^4 M_{\odot}$ из звезд населения III типа. Для разных затравочных масс (100 - 140, 140 - 260 и свыше 260 M_{\odot}) с учетом очень низкого темпа потери вещества проанализированы

The process of formation of intermediate-mass black holes (IMBH) of $10^2-10^4 M_{\odot}$ from the Population III stars is discussed. For different bare masses (100 - 140, 140 - 260 and above 260 M_{\odot}) with provision for an extremely low range of matter loss, possible evolutionary

возможные эволюционные треки ЧДПМ. При этом массы образующихся после завершения термоядерных реакций ЧДПМ должны, по-видимому, составлять около 90% массы звезд.

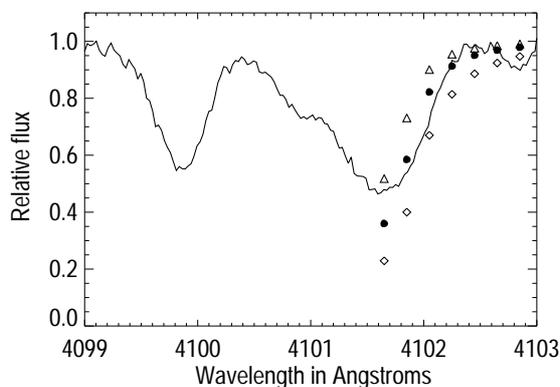
С использованием модифицированной начальной функции масс звезд и распределения по скоростям были получены оценки их аккреционной светимости в гало и дисковой компоненте типичной галактики. Проанализированы возможности обнаружения ЧДПМ как звездообразных источников излучения разных диапазонов.

С.В. Карпов, Г.М. Бескин.

СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ЗВЕЗД НА ПОЗДНИХ СТАДИЯХ ЭВОЛЮЦИИ

Спектроскопия гелиевой звезды KS Per

Интерес к тесным двойным системам с большим дефицитом водорода связан с тем, что их считают предшественниками сверхновых типа Ia или Ib. Известно только четыре такие системы, включая и KS Per. По спектрам с высоким разрешением (БТА/НЭС) мы уточнили ее фундаментальные параметры: расстояние $d \sim 1$ кпк, светимость $L \sim 3.3 * L_{\odot}$, $T_{\text{eff}} = 9500^{\circ}\text{K}$, $\log g = 2.0$ и детальный химический состав. Звезда проэволюционировала настолько далеко, что водород в ее атмосфере почти полностью замещен гелием.



Методом синтетических спектров мы определили $\text{H/He} = 3 * 10^{-5}$ и металличность $[\text{Fe/H}] = -0.8$ dex. На рисунке 44 представлен наблюдаемый профиль линии H_{δ} в сравнении с теоретическим при вариациях отношения H/He . Очень большой избыток азота $[\text{N/Fe}] = 1.4$ dex при дефиците углерода и кислорода соответствуют ожидаемым величинам для звезды на заключительных стадиях эволюции.

В.Г. Клочкова совместно с Т. Кунпером (Эстония). Baltic Astronomy, 17, 195 (2008).

HD 56126 = IRAS 07134+1005 - общепризнанный объект на стадии перехода от асимптотической ветви гигантов к планетарной туманности.

IMBH tracks are analyzed. The masses of the IMBHs created after the thermonuclear processes are over must apparently constitute about 90% of stellar masses.

Using the modified stellar mass function and velocity distributions, the estimates of their accretion luminosity in the halo and disk component of a typical galaxy were obtained. The IMBH detection possibilities as star-like sources of emission of different ranges are analyzed.

S.V. Karpov, G.M. Beskin.

HIGH RESOLUTION SPECTROSCOPY OF STARS AT FINAL STAGES OF EVOLUTION

Spectroscopy of a Helium Star KS Per

Interest to the hydrogen-deficient close binary systems is based on the fact that they are believed to be the progenitors of the Ia and Ib-type supernovas. Only four such systems, including KS Per, are known to date. Using the high resolution spectra obtained with the Nasmyth Echelle Spectrograph of the BTA, we refined its fundamental parameters: distance $d \sim 1$ kpc, luminosity $L \sim 3.3 * L_{\odot}$, $T_{\text{eff}} = 9500^{\circ}\text{K}$, $\log g = 2.0$ and a detailed chemical composition. The star has gone through its evolution so far that the hydrogen in its atmosphere is almost completely replaced by helium.

*Рис. 44. Профили линии H_{δ} в спектре KS Per. Линией указан наблюдаемый профиль, значками нанесен теоретический профиль при вариациях содержания гелия: треугольники - $\text{H/He} = 10^{-5}$, заполненные кружки - $\text{H/He} = 2 * 10^{-5}$, ромбики - $\text{H/He} = 5 * 10^{-5}$.*

*Fig. 44. H_{δ} line profiles in the KS Per spectrum. The observed profile is marked with a line, the signs mark the theoretical profile taken the helium abundance variations of: $\text{H/He} = 10^{-5}$, marked with triangles, $\text{H/He} = 2 * 10^{-5}$ with filled circles, $\text{H/He} = 5 * 10^{-5}$ with rhombs.*

Using the method of synthetic spectra, we deduced $\text{H/He} = 3 * 10^{-5}$, and the metal abundance $[\text{Fe/H}] = -0.8$ dex. Figure 44 shows the observed profile of the H_{δ} line compared to the theoretical ones taken the H/He variations. Nitrogen abundance is very high $[\text{N/Fe}] = 1.4$ dex, carbon and oxygen abundances are low, which corresponds to the expected values for a star at final stages of its evolution.

V.G. Klochkova in collaboration with T. Kipper (Estonia). Baltic Astronomy, 17, 195 (2008).

HD 56126 = IRAS 07134+1005 is a generally recognized object going through a passage from an asymptotic giant branch star to the planetary nebula.

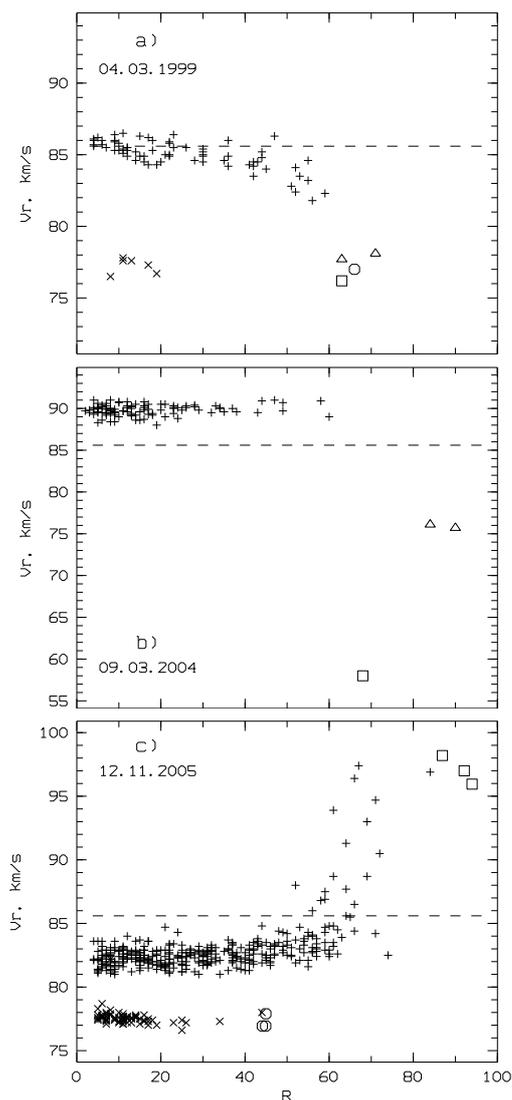


Рис. 45. Зависимость гелиоцентрической лучевой скорости, найденной по ядру абсорбции, от ее глубины R в спектре HD 56126. Штриховая прямая указывает системную скорость. Каждый значок соответствует одной линии, а размер – точности измерения. Прямыми крестиками отмечены линии металлов, косыми крестиками – линии C_2 , треугольниками – основные компоненты D-линий NaI, кружками – вторичные компоненты линий FeI(42), квадратами – сверху вниз: H_α , H_β , H_γ , H_δ .

Fig. 45. Dependence of the heliocentric radial velocity, deduced by the absorption core, on its depth R in the spectrum of HD 56126. Dashed line shows the systemic radial velocity. Every sign corresponds to one line, and its size shows the accuracy of measurement. Direct crosses mark the metal lines, inclined crosses – C_2 lines, triangles – the main components of NaI D lines, circles – secondary components of FeI(42) lines, squares (from top to bottom): H_α , H_β , H_γ , H_δ .

В спектре звезды в диапазоне 4012-8790 Å (БТА/НЭС) отождествлено около полутора тысяч абсорбционных линий атомов и ионов, линий полос поглощения молекул C_2 , CN и CH, диффузных межзвездных полос, измерены их глубины и лучевые скорости V_r .

Составлен атлас спектра HD 56126 и звезды сравнения α Per (Astrophysical Bulletin, **62**, с. 105, 2007). Выявлена сложная форма профилей сильных линий, формирующихся в оболочке, переменность профилей линий и лучевой скорости. По линиям металлов и молекулярным деталям обнаружены дифференциальные сдвиги линий.

В атмосфере звезды одновременно присутствуют как расширяющиеся слои, так и слои, падающие на звезду (рис. 45). Положение молекулярного спектра стабильно во времени, что указывает на постоянную скорость расширения (по линиям C_2 и NaI) околосредной оболочки HD 56126.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов, Н.С. Таволжанская, В.Е. Панчук. АЖ, **516**, 994 (2007).

In the star's spectrum, a total of about one and a half thousand absorptions of neutral atoms and ions, absorption bands of C_2 , CN, and CH molecules, diffuse interstellar bands (DIBs) are identified in the 4012-8790 Å wavelength interval (BTA/NES), and the depths and radial velocities V_r of these spectral features are measured. The Atlas of the spectra of HD 56126 and its comparison star α Per is available at Astrophysical Bulletin, **62**, с. 105, 2007. We revealed the complex shape of the strong line profiles, which form in the expanding atmosphere of the star, the variations of line profiles and radial velocities. From the metal and molecular lines we found differential line shifts.

In the star's atmosphere there are both the expanding layers and those infalling onto the star (Fig. 45). The position of the molecular spectrum is stable in time, which points to the stability of the expansion velocity of the circumstellar envelope of HD 56126 as measured from C_2 and NaI lines.

V.G. Klochkova, E.L. Chentsov, N.S. Tavganskaya, V.E. Panchuk. Astronomy Reports, **516**, 994 (2007).

BD +48° 1220 = IRAS 05040+4820

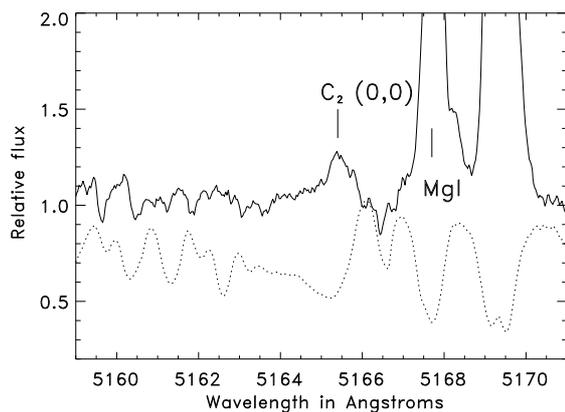
Впервые обнаружена и исследована спектральная переменность этой post-AGB звезды. Выявлены переменные во времени дифференциальные сдвиги линий. В диапазоне 4500 -6760 Å измерены эквивалентные ширины абсорбционных линий атомов, ионов и их лучевые скорости. В течение 3 лет наблюдений лучевая скорость BD +48°1220 менялась от -7 до +15 км/с. Методом моделей атмосфер определены эффективная температура $T_{\text{eff}}=7900^{\circ}\text{K}$, $\log g = 0.0$, $\xi_t = 6.0$ км/с и содержание 16 химических элементов. Металличность BD +48°1220 мало отличается от солнечной. Основными особенностями химического состава звезды являются избыток гелия $[\text{He}/\text{H}] = +1.04$ и кислорода $[\text{O}/\text{Fe}] = +0.72$ dex, незначительный избыток углерода $[\text{C}/\text{Fe}] = +0.09$, пониженное содержание бария, измененное соотношение содержания легких металлов $[\text{Na}/\text{Fe}] = +0.87$ при $[\text{Mg}/\text{Fe}] = -0.31$.

Сделан вывод об эффективности механизма селективной сепарации химических элементов на пылинки оболочки. Совокупность данных позволяют отнести BD +48°1220 к He- и O-rich post-AGB звездам в диске Галактики.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов, Н.С. Таволжанская, В.Е. Панчук. Астрономический журнал, 51, 642 (2007); Астрофизический бюллетень, 63, 112 (2008).

Углеродная звезда с большим дефицитом водорода R CrB

Получены 2 спектра звезды R CrB: первый в 2003г. - на нисходящей ветви, когда блеск звезды ослабел до 12^m, второй - при увеличении блеска до 7.5^m. В спектрах присутствуют характерные для этого типа звезд узкие и широкие эмиссии.



В первом спектре полоса системы Свана $\text{C}_2(0,0)$ наблюдается в эмиссии, во втором - в абсорбции (рис. 46). Несколько вращательных линий красной системы CN(5,1) и линии FeI с низким возбуждением обнаружены в абсорбции. Изучена сложная кинематическая картина в протяженной атмосфере и околозвездной оболочке звезды.

В.Г. Клочкова совместно с Т. Киппером (Эстония).

BD +48° 1220 = IRAS 05040+4820

For the first time we detected and analyzed the optical spectral variability of the of this post-AGB star. We have measured the equivalent widths of numerous absorption lines of neutral atoms and ions at wavelengths from 4500 to 6760 Å, as well as the corresponding radial velocities. During 3 years of observations the radial velocity of BD+48° 1220 varied from -7 to +15 km/s. Time-variable differential line shifts have been revealed. We use model atmospheres to determine the effective temperature $T_{\text{eff}}=7900^{\circ}\text{K}$, $\log g = 0.0$, $\xi_t = 6.0$ km/s, and the abundances for 16 elements. The star's metallicity differs little from the solar value. The main peculiarity of the chemical composition of the star is a large helium $[\text{He}/\text{H}] = +1.04$ and O-excesses, $[\text{O}/\text{Fe}] = +0.72$ dex, a small C-excess, $[\text{C}/\text{Fe}] = +0.09$, low barium abundance, and an altered relation for the light-metal abundances: $[\text{Na}/\text{Fe}] = +0.87$ dex with $[\text{Mg}/\text{Fe}] = -0.31$.

It is concluded that the selective separation mechanism of elements onto dust grains of the envelope is probably efficient. The entire set of available data confirms the status of BD +48°1220 as a post-AGB star with He and O excesses belonging to the Galactic disk.

V.G. Klochkova, E.L. Chentsov, N.S. Tavolgenskaya, V.E. Panchuk. Astronomy Reports, 51, 642 (2007); Astrophysical Bulletin, 63, 112 (2008).

Carbon Star R CrB with Large Hydrogen Deficiency

Two sets of high-resolution spectra of R CrB were obtained: the first one during 2003 on the descending branch, when the light faded to 12^m, and the second one in the recovery phase at 7.5^m. The usual sharp and broad emissions are present.

Рис. 46. Эмиссионная полоса Свана в спектре R CrB. Видны также эмиссии MgI, FeI, FeII. Сплошной линией обозначен спектр, полученный близко к минимуму блеска звезды, штриховой линией - в максимуме блеска.

Fig. 46. Swan emission band in the spectrum of RCrB. The emission lines of Mg I, Fe I and Fe II are also visible. The solid line represents the spectrum obtained close to the star's minimum, the dotted line - at its maximum luminosity.

In the first spectrum the C_2 Swan system (0,0) band was found to be in emission, in the second spectrum C_2 bands were in absorption (Fig. 46). A few CN red system (5,1) band rotational lines and low excitation Fe I lines were in absorption. The measured radial velocities of various spectral features are presented.

V.G. Klochkova in collaboration with T. Kipper (Estonia).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВЕЗД С НЕЯСНЫМ ЭВОЛЮЦИОННЫМ СТАТУСОМ

STUDY OF STARS WITH UNCLEAR EVOLUTIONAL STATUS

Полуправильная переменная QY Sge

Semiregular Variable QY Sge

Внимание к аномальному сверхгиганту QY Sge обусловлено его сложным оптическим спектром (прежде всего присутствием мощных широких эмиссионных компонентов D-линий дублета NaI).

Repeated studies of the anomalous supergiant QY Sge are induced by its complex optical spectrum (first of all by the presence of very wide NaI D emission line components).

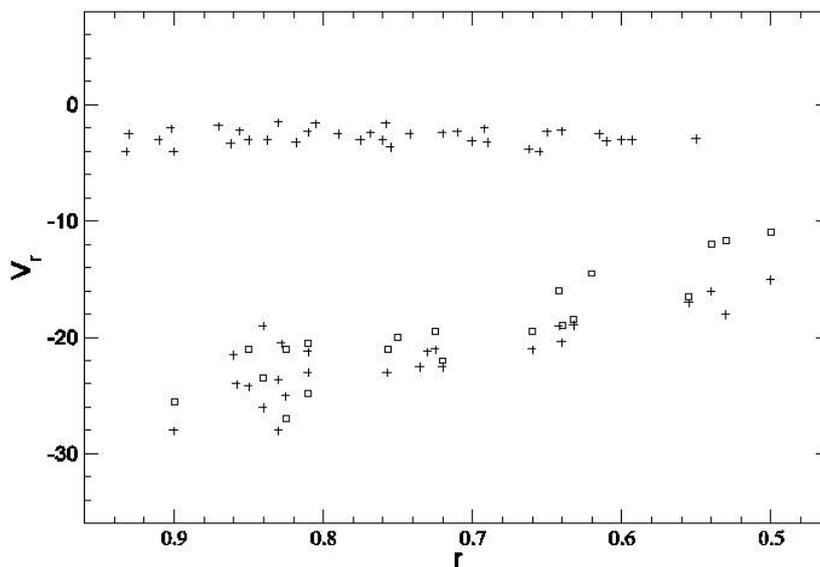


Рис. 47. Зависимости гелиоцентрической скорости V_r от остаточной интенсивности линии r в спектрах QY Sge (вверху 2003 г., внизу – 2004 г.).

Fig. 47. Heliocentric radial velocity V_r as a function of the central residual line intensity r in the spectra of QY Sge (top: taken in 2003, bottom – taken in 2004).

Пока нет согласия в определении статуса QY Sge, в оценке расстояния до нее, а также в понимании всех особенностей ее оптического спектра. Мы провели мониторинг звезды с высоким спектральным разрешением (БТА/НЭС).

There is currently no consensus of opinion concerning the status of QY Sge, its distance, and understanding of all the peculiarities of its optical spectrum. That is why we made high spectral resolution spectroscopic monitoring of the star with BTA/NES.

Самой интенсивной и пекулярной деталью в спектре является D-линия NaI с узкими и широкими эмиссионными компонентами. Широкая эмиссия прослеживается от -170 до $+120$ км/с. В центральной части она прорезана абсорбцией с узким эмиссионным пиком, делящем последнюю пополам. Системная скорость $V_r = -21.1$ км/с соответствует положению узкой эмиссии NaI. Эмиссионные детали D-линий NaI не меняют своего положения, что указывает на их формирование во внешних областях фотосферы сверхгиганта.

The strongest and most peculiar feature in its spectrum is the complex profile of NaI D lines, which contains both narrow and wide emission components. Wide emission can be seen to extend from -170 to $+120$ km/s. At its central part it is cut by an absorption feature, which is, in turn, split into two subcomponents by a narrow emission peak. The systemic velocity $V_r = -21.1$ km/s corresponds to the position of the narrow emission component of NaI. The locations of emission-line features of NaI D lines are invariable, which points to their formation in regions that are external to the supergiant's photosphere. Differential line shifts are revealed (Fig. 47). Emission in the H_α line is weaker than in NaI D lines, it fills the photosphere absorption almost completely. The following parameters are determined: $T_{\text{eff}} = 6250^\circ\text{K}$, $\log g = 2.0$, and $\xi_t = 4.5$ km/s.

Выявлены дифференциальные сдвиги линий (рис. 47). Эмиссия в линии H_α слабее, чем в D-линиях NaI, она почти полностью заливает фотосферную абсорбцию. Определены параметры QY Sge: $T_{\text{eff}} = 6250^\circ\text{K}$, $\log g = 2.0$ и $\xi_t = 4.5$ км/с. Химический состав незначительно отличается от солнечного. Элементы α -процесса Mg, Si и Ca имеют небольшой избыток (в среднем $[\alpha/\text{H}] = +0.12$). Содержание элементов s-процесса несколько ниже солнечного. Большой избыток натрия $[\text{Na}/\text{Fe}] = +0.75$, вероятно, является следствием

The chemical composition differs only slightly from the solar composition. The α -process elements Mg, Si, and Ca are slightly overabundant, on the average by $[\alpha/\text{H}] = +0.12$. The s-process elements are somewhat less abundant than solar. The strong overabundance of sodium, $[\text{Na}/\text{Fe}] = +0.75$, is likely to be due to the

выноса в атмосферу вещества, переработанного в NeNa-цикле.

В целом, наблюдаемые свойства QY Sge не позволяют отнести ее к звездам типа R CrB или RV Tau.

V.G. Klochkova, V.E. Panchuk, E.L. Chentsov, M.V. Yushkin. Astrofiz. бюлл., 62, 217 (2007).

dredge-up of the matter processed in the NeNa cycle.

On the whole, the observed properties of QY Sge do not give grounds for including this star into the group of R CrB or RV Tau-type objects.

V.G. Klochkova, V.E. Panchuk, E.L. Chentsov, M.V. Yushkin, Astrophysical Bulletin, 62, 217 (2007).

V2324 Cyg = IRAS 20572+4919 — F-звезда с быстрым ветром

V2324 Cyg = IRAS 20572+4919 — F-Type Star with Fast Wind

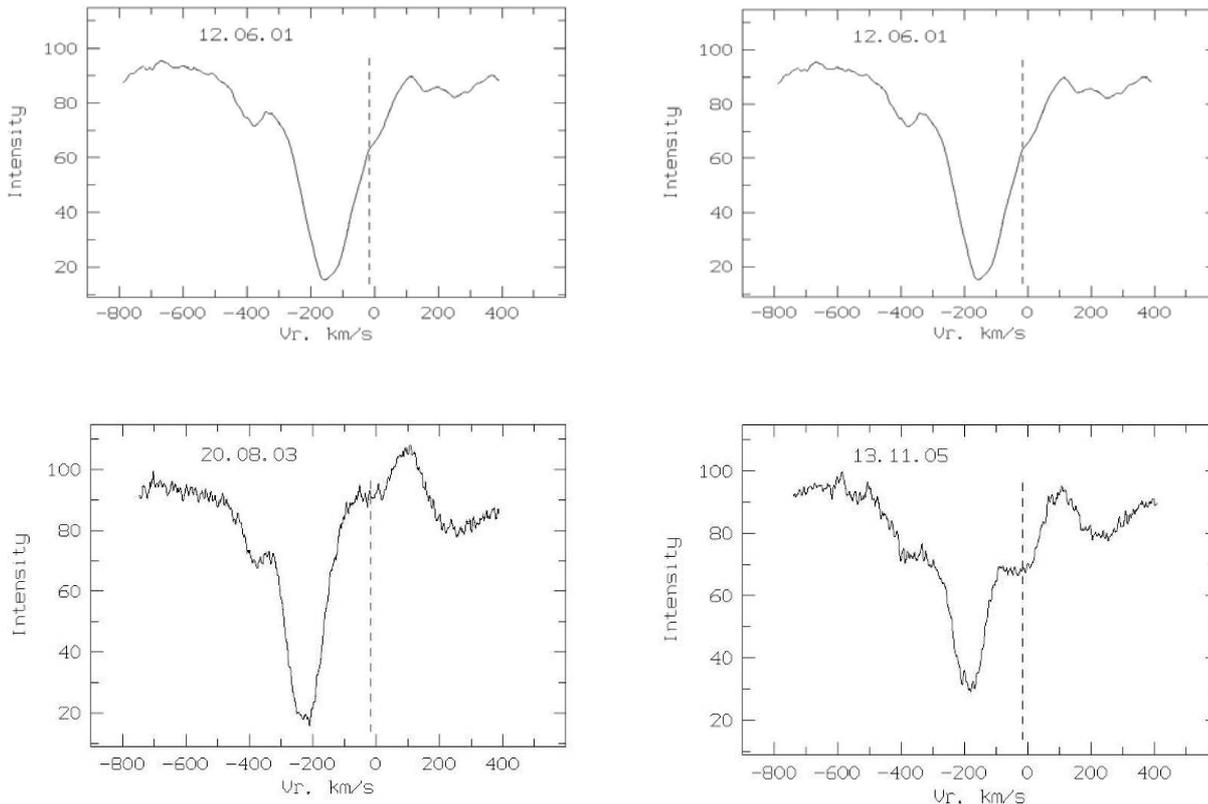


Рис. 48. Переменность профиля H_β в спектрах V2324 Cyg. Вертикальной штриховой линией указана системная скорость.

Fig. 48. The H_β profile variability in the spectra of V2324 Cyg. The vertical dashed line shows the mean velocity.

Выполнен спектральный мониторинг (1995-2006 гг.) малоизученной переменной звезды V2324 Cyg (БТА/НЭС). По наблюдаемому избытку излучения в области 12-60 мкм и положению на диаграмме ИК-цветов объект считают кандидатом в протопланетарную туманность (PPN).

Определены спектральный класс F0III и скорость вращения звезды $V \cdot \sin i = 69$ км/с. Линии нейтрального водорода и D-линии NaI в спектре имеют сложный профиль типа P Cyg (рис. 47). Среднее значение гелиоцентрической лучевой скорости $V_r = -6.8$ км/с. Скорости по ядрам абсорбционных компонентов ветровых линий H_α и NaI колеблются в интервале от -140 до -225 км/с, а скорости расширения соответствующих слоев от 120 до 210 км/с. Максимальная скорость расширения получена по синему компоненту расщепленной абсорбционной линии H_α и составляет 450 км/с.

Optical spectroscopy of the poorly studied V2324 Cyg variable star is performed with BTA/NES in 1995-2006. The observed 12–60 μm flux of the star and its location on the IR colour-colour diagram suggest that this object is a candidate protoplanetary nebula (PPN).

The spectral type and rotational velocity of the star are found to be F0 III and $V \cdot \sin i = 69$ km/s, respectively. Neutral hydrogen and NaI D lines have complex P Cyg-type profiles (Fig. 47). The value for the average heliocentric radial velocity is $V_r = -16.8$ km/s. The radial velocities inferred from the cores of the absorption components of the H_α and NaI wind lines vary from -140 to -225 km/s, and the expansion velocities of the corresponding layers, from about 120 to 210 km/s. The maximum expansion velocity found for the blue component of the split H_α absorption is 450 km/s. The method of model atmospheres is used to determine the

Методом моделей атмосфер определены $T_{\text{eff}} = 7500^{\circ}\text{K}$, $\log g = 2.0$, $\xi_t = 6.0 \text{ km/s}$ и солнечная металличность.

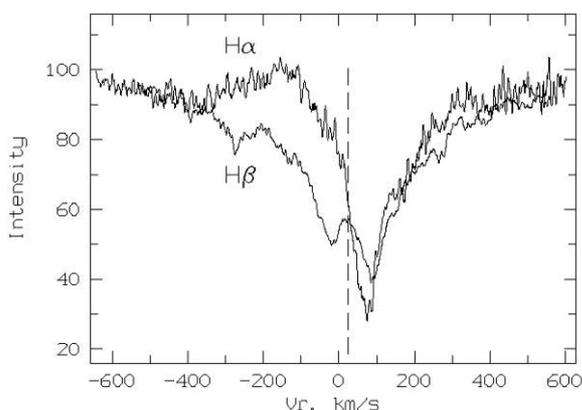
Основной особенностью химического состава звезды является избыток лития и натрия. Принадлежность V2324 Cyg к post-AGB звездам поставлена под сомнение.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов, В.Е. Панчук. Астрофизический бюллетень, 63, 112 (2008).

Спектрально-двойная звезда BD -6° 1178 (IRAS 05238-0626)

На основании наблюдаемого избытка излучения в диапазоне 12 - 60 мкм и положения на диаграмме ИК-цветов этот объект считается вероятным кандидатом в PPN. Для BD -6° 1178 пока опубликованы лишь спектры низкого разрешения. По спектрам высокого спектрального разрешения нами впервые обнаружена спектральная двойственность (SB2) этой звезды. Компоненты имеют близкие спектральные классы и светимости F5IV-III и F3V.

Профили линий нейтрального водорода имеют сложную форму с эмиссионным компонентом (рис. 49). Для 4-х моментов наблюдений в 2004-2005 гг. измерена гелиоцентрическая лучевая скорость обоих компонентов. Скорости вращения обеих звезд близки - 24 и 19 км/сек.



following parameters of the star: $T_{\text{eff}} = 7500^{\circ}\text{K}$, $\log g = 2.0$, $\xi_t = 6.0 \text{ km/s}$, and metallicity, which is equal to the solar value.

The main peculiarity of the chemical composition of the star is the overabundance of Li and Na. The results cast some doubt on the classification of V2324 Cyg as a post-AGB star.

V.G. Klochkova, E.L. Chentsov, V.E. Panchuk. Astrophysical Bulletin, 63, 112 (2008).

Spectroscopic Binary BD-6°1178 (IRAS 05238-0626)

This object is considered to be candidate protoplanetary nebula according to the observed excess of radiation in the 12–60 μm wavelength region and its position on the IR colour-colour diagram. So far only low-resolution spectra have been published for BD -6° 1178. Analyzing the high-resolution spectra for the first time the spectroscopic duplicity (SB2) of this star was found. The components of the binary have close spectral types and luminosity classes: F5IV-III and F3V.

Neutral hydrogen lines have a complex form with an emission component (Fig. 49). The heliocentric radial velocities are measured for both components at four time moments in 2004-2005. The two stars have close rotational velocities, which are equal to 24 and 19 km/s.

Рис. 49. Профили линий H_{α} и H_{β} в спектре BD-6°1178. Вертикальной штриховой линией указана системная скорость.

Fig. 49. Profiles of the H_{α} and H_{β} lines in the spectrum of BD-6°1178. The vertical dashed line shows the adopted systemic velocity.

Не подтверждена классификация объекта как сверхгиганта на стадии перехода к планетарной туманности. Вероятно, BD -6° 1178 является молодой звездой до главной последовательности (ГП). Не исключено ее членство в подгруппе 1c ассоциации Ori OB1.

В.Г. Клочкова, Е.Л. Ченцов. Астрофизический бюллетень, 63, 272 (2008).

МАССИВНЫЕ СВЕРХНОВЫЕ SN2006aj/GRB060218 И SN2008D/XRF080109

Изучение сверхновых, связанных с коллапсом ядра массивной звезды, представляет особый интерес, поскольку предполагается, что продолжительные гамма-всплески связаны именно с этими событиями.

We do not confirm the classification of BD-6°1178 as a supergiant in the state of becoming a planetary nebula. BD-6°1178 is probably a young pre-MS (Main Sequence) star. It is possibly a member of the 1c subgroup of the OriOB1 association.

V.G. Klochkova, E.L. Chentsov. Astrophysical Bulletin, 63, 272 (2008).

MASSIVE SUPERNOVAE SN2006aj/GRB060218 AND SN2008D/XRF080109

Studies of supernovae, connected with a core-collapse of a massive star, are of special interest, as it is hypothesized that long-term gamma-ray bursts were linked with these very events.

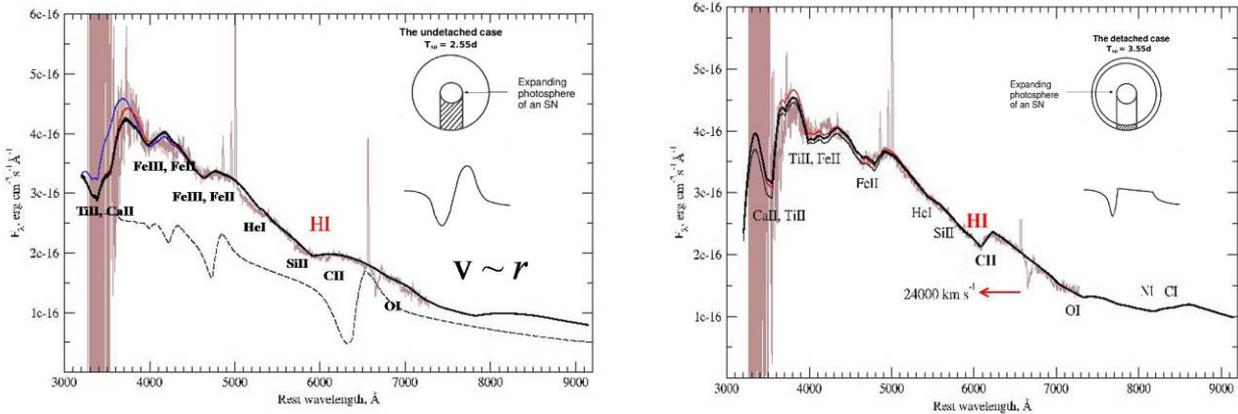


Рис. 50. Спектры GRB/XRF060218/SN2006aj, полученные через 2.55^d (слева) и 3.55^d после вспышки (справа). Указано положение линий ионов, вклад которых учитывался в модельных спектрах (сплошные толстые линии). Слева — спектр с широкой особенностью, соответствующей P Cyg-профилю H_α для скорости расширения оболочки 33000 км/с (undetached case). Для примера пунктирной линией показано положение P Cyg-профиля для скорости 8000 км/с. Широкая абсорбция с минимумом около 6100 Å описывается подавляющим влиянием HI для случая отделившегося от фотосферы водородного слоя (detached case). Это сильно сдвинутый в синюю сторону «остаток» PCyg-профиля линии H_α при скорости расширения отделившегося HI-слоя 24000 км/с и фотосферы 18000 км/с.

Fig. 50. The spectra of the XRF/GRB060218/SN2006aj afterglow, obtained 2.55^d (left) and 3.55^d (right) after the burst. Locations of spectral lines of some ions which contribution takes into calculation are shown on the model spectrum drawn thick solid lines. Left: the spectrum with a wide peculiarity, corresponding to the P Cyg H_α profile for the 33000 km/s velocity of the shell expansion (undetached case). For the sake of example the dotted line shows the P Cyg profile position at 8000 km/s. Wide absorption with the minimum about 6100 Å is described by suppressing influence of HI for the detached from photosphere hydrogen layer. This is a strongly blue-shifted part of the H_α P Cyg profile at the velocity of expansion of the detached HI layer equal to 24000 km/s and the photosphere 18000 km/s.

Получены новые наблюдательные данные (BTA/SCORPIO), подтверждающие прямую связь между ними. Транзиентные события SN 2006aj/GRB 060218 и SN 2008D/XRF 080109 с мощной компонентой излучения сверхновой в спектре и в кривой блеска послесвечения были классифицированы одновременно и как гамма-всплески, и как сверхновые типов Ib с. Совпадение таких явлений случаются достаточно редко.

New observational data were obtained on BTA/SCORPIO, confirming a direct link between them. Transient events SN 2006aj/GRB 060218 and SN 2008D/XRF 080109 with a powerful component of supernova emission in spectra, and in the light curve of the GRB afterglow were both simultaneously classified as gamma-ray bursts, and as Ib-c type supernovae. Such coincidences are very rare.

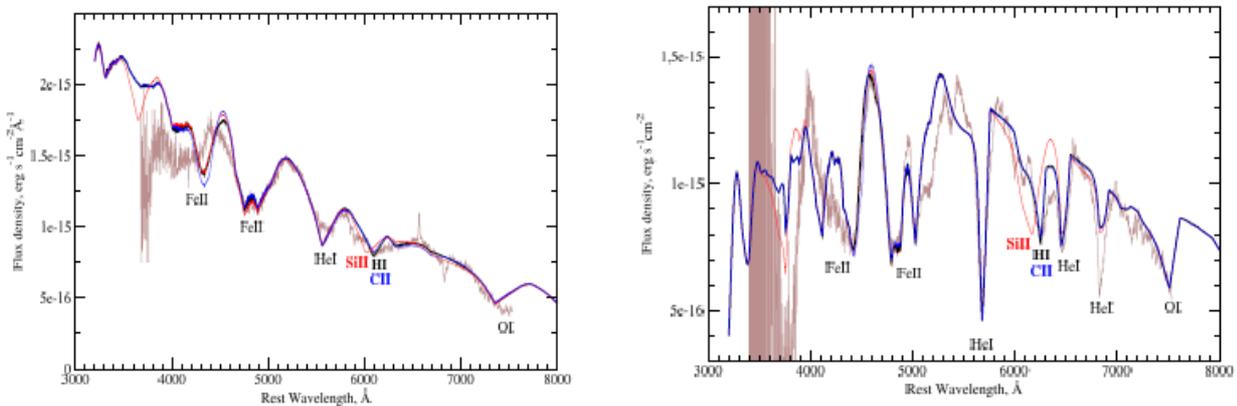


Рис. 51. Спектры SN2008D/XRF080109 в диапазоне 3700-7500 Å, полученные через 6.48^d (слева) и 27.61^d (справа) после вспышки. Основные линии поглощения были проинтерпретированы как P Cyg-профили линий HeI, FeII, HI и OI.

Fig. 51. The spectra of the SN2008D/XRF080109 in the 3700-7500 Å range, obtained in 6.48^d (left) and 27.61^d (right) after the burst. The main absorption lines were identified as the P Cyg profiles of HeI, FeII, HI and OI lines.

Ранние наблюдения были проведены через 2.55^d и 3.55^d после взрыва у SN 2006aj/GRB 060218 и через 6.48^d и 27.61^d для SN 2008D/XRF 080109. При моделировании спектров основное внимание уделялось поискам линий водорода и гелия (рис. 50 и рис. 51), которые являются признаками звездно-ветровых оболочек, образующихся в результате эволюции массивных звезд-предшественниц сверхновых типов Ib-c.

Оболочки проявили себя в виде мощной тепловой компоненты в рентгеновском спектре вспышек. Изменение скорости расширения оболочек от 33000 до 10500 км/с хорошо согласуется с эволюцией скоростей у сверхновых Ib-c типов. Исследована динамика относительного содержания элементов в их оболочках.

V.V. Sokolov, T.A. Fatkhullin, A.S. Moskvitin совместно с Э. Сонбас (Турция), А. Кастро-Тирадо (Испания), А. де Угарте Постиго (ESO), С. Гузий (Украина), С.Б. Пандей (Индия). Astrophysical Bulletin, 63, 228 (2008).

Early spectra were obtained in 2.55 and 3.55 days after the explosion of SN 2006aj/GRB 060218, and in 6.48 and 27.61 days for SN 2008D/XRF 080109. Modeling the spectra, we concentrated our efforts on the search for hydrogen and helium lines (Figs 50 and 51), which are a sign of stellar-wind envelopes that form as a result of evolution of massive progenitor stars of Ib-c type supernovae.

The envelopes demonstrated themselves in the burst's X-ray spectrum as a powerful thermal component. Envelope expansion velocity variation from 33000 to 10500 km/s is in good accord with the velocity evolution in Ib-c type supernovae. The dynamics of the abundance of chemical elements in the envelopes was studied.

V.V. Sokolov, T.A. Fatkhullin, A.S. Moskvitin in collaboration with E. Sonbas (Turkey), A. Castro-Tirado (Spain), A. de Ugarte Postigo (ESO); S. Guziy (Ukraine); S.B. Pandei (India). Astrophysical Bulletin, 63, 228 (2008).

НАБЛЮДЕНИЯ КАНДИДАТА В МАГНЕТАРЫ В АКТИВНОМ И СПОКОЙНОМ СОСТОЯНИИ

OBSERVATIONS OF A CANDIDATE MAGNETAR IN ACTIVE AND QUIESCENT STAGES

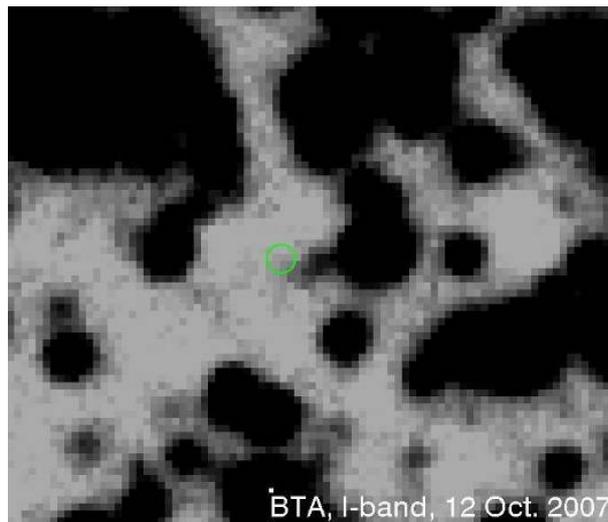
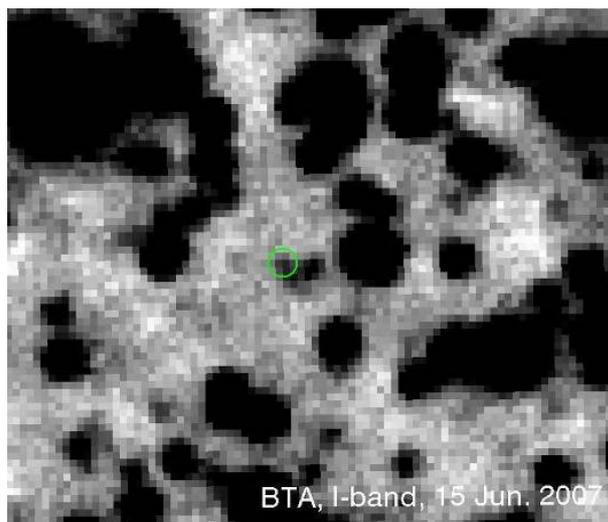


Рис. 52. Глубокие изображения поля SWIFT J195509+261406, полученные на BTA/SCORPIO.

Fig. 52. Deep field SWIFT J195509+261406 images, obtained on BTA/SCORPIO.

В рамках международного сотрудничества (Россия, Испания, Германия, Южная Африка, Чили) проведены наблюдения уникального события SWIFT 195509+261406 (GRB 070610) (рис. 52). По выполненным на БТА и других телескопах спектральным и фотометрическим наблюдениям сделан вывод о том, что в рамках модели одиночной нейтронной звезды удалось обнаружить и изучить аналог мягкого гамма-репитера (Soft Gamma Repeater, SGR) в активной фазе.

Полагается, что данное событие представляет собой «мост» в шкале светимостей между известным классом SGR-событий, аномальных рентгеновских пульсаров (AXP) и слабыми изолированными

Within the framework of an international collaboration programme (Russia, Spain, Germany, South Africa, Chile) observations were made of a puzzling source, SWIFT J195509+261406 (GRB 070610) (Fig. 52). According to the multi-wavelength spectral and photometric observations a conclusion was made that within the model of an isolated neutron star we could detect and study an analogue of a soft gamma-ray repeater (SGR) in its active phase.

It is believed that this event is a «bridge» in the luminosity scale between the known class of SGR events, anomalous X-ray pulsars (AXP) and dim isolated neutron stars.

нейтронными звездами. Впервые в оптике удалось наблюдать магнетар в активной фазе.

V.V. Sokolov, T.A. Fatkhullin совместно с A. Кастро-Тирадо (Испания), Э. Сонбас (Турция). Nature, 455, 506 (2008).

Моделирование широкополосных спектров родительских галактик GRB 021004 и GRB 060218

Данные широкополосной фотометрии родительских галактик гамма-всплесков GRB 021004 и GRB 060218 (рис. 53) сравнивались с синтетическими шаблонами спектральных распределений энергии (SED) галактик со звездообразованием. Рассмотрены простая однокомпонентная и двухкомпонентная модели SED. Последняя модель является суммой спектров молодого (вспышечная компонента) и старого населения. Результаты моделирования говорят о незначительном внутреннем поглощении $A_V = 0.47$, $E(B-V) = 0.15$ в родительской галактике GRB 021004 и $A_V = 0.31$, $E(B-V) = 0.08$ для GRB 060218.

Возраст звездного населения родительской галактики GRB 021004 для вспышечной компоненты оценивается в пределах 0-3, а для старого населения 70-140 млн. лет. В родительской галактике GRB 060218 эти компоненты имеют возраст 30-160 и 1500-2000 млн. лет соответственно. Масса видимого звездного населения родительской галактики оценивается как $5 \cdot 10^{10} M_\odot$ для GRB 021004 и $3 \cdot 10^8 M_\odot$ для GRB 060218.

A.C. Москвитин совместно с Э. Сонбас (Турция) и И.В. Соколовым (ПРАО АКЦ ФИАН).

For the first time an optical manifestation of magnetar activity has been observed

V.V. Sokolov, T.A. Fatkhullin in collaboration with A. Castro-Tirado (Spain), E. Sonbas (Turkey). Nature, 455, 506 (2008).

Modeling the Wide-Band Spectra of Host Galaxies of GRB 021004 and GRB 060218

Wide-band photometry data of the GRB 021004 and GRB 060218 gamma-ray bursts host galaxies (Fig. 53) were compared with the synthetic patterns of spectral energy distribution (SED) of galaxies with star formation.

We examined simple one-component and two-component SED models. The latter is a sum of the spectra of the young (burst component) and old populations.

The modelling results assume an insignificant inner absorption $A_V = 0.47$, $E(B-V) = 0.15$ in the parent galaxy of GRB 021004 and $A_V = 0.31$, $E(B-V) = 0.08$ for GRB 060218.

The age of the stellar population in the GRB 021004 parent galaxy for the burst component is estimated at 0-3, and for the old population - at 70-140 Myr. In the host galaxy of GRB 060218 these components have the age of 300-1600 and 1500-2000 Myr, respectively. The mass of the observed stellar population of the parent galaxy is estimated at $5 \cdot 10^{10} M_\odot$ for GRB 021004 and $3 \cdot 10^8 M_\odot$ or GRB 060218.

A.S. Moskvitin in collaboration with E. Sonbas (Turkey) and I.V. Sokolov (PRAO ASC LPI RAS).

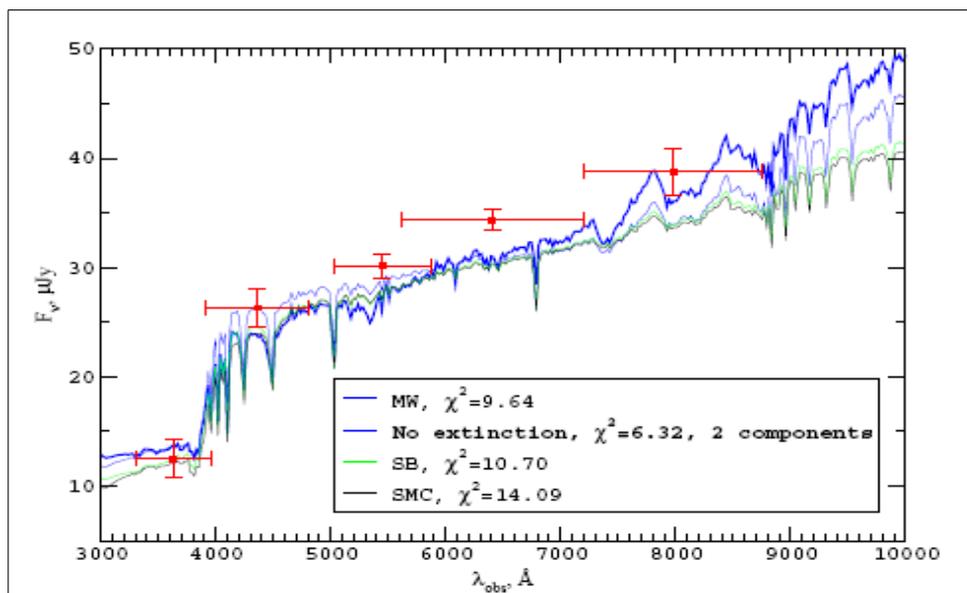


Рис. 53. Результаты моделирования спектра родительской галактики GRB 060218 с металличностью 0.1 Z_\odot .
Fig. 53. Spectrum modeling results of GRB 060218 host galaxy with 0.1 Z_\odot metallicity.

Исследования предкатаклизмической переменной BE UMa

Завершен семилетний цикл спектроскопических и фотометрических исследований молодой предкатаклизмической переменной BE UMa (БТА, Цейсс-1000 и турецкий 1.5 м телескоп). Получены данные для разных орбитальных фаз двойной системы, в том числе для моментов главного затмения. Проведена идентификация эмиссионных линий 10 химических элементов. В минимумах блеска в спектрах обнаружены линии поглощения и молекулярные полосы, формирующиеся в атмосфере вторичной компоненты ($T_{\text{eff}} \sim 4700^{\circ}\text{K}$). Лучевые скорости демонстрируют ранее предсказанные искажения, вызываемые действием эффектов отражения в тесных двойных системах. Массы компонент составляют $M_1 = 0.59 \pm 0.07 M_{\odot}$, $M_2 = 0.25 \pm 0.08 M_{\odot}$, а их отношение $q = 0.43 \pm 0.09$. Анализ кривых блеска проведен с применением метода моделей атмосфер облучаемых звезд (рис. 54). Уточнены все параметры BE UMa.

Studies of Pre-Cataclysmic Variable Star BE UMa

We have finished a 7-year long cycle of photometric studies of a young pre-cataclysmic variable BE UMa (BTA, Zeiss-1000 and a Turkish 1.5-m telescope). We obtained the data from a wide range of orbital phases, including times of primary eclipses. We performed a detailed identification of emission lines of ten elements. At the phases of minimum brightness, the spectra reveal absorption lines and molecular bands formed in the secondary's atmosphere ($T_{\text{eff}} \sim 4750^{\circ}\text{K}$). We have studied the radial velocity curves which exhibit the previously predicted distortions due to reflection effects in close binaries. The derived component masses are $M_1 = 0.59 \pm 0.07 M_{\odot}$ and $M_2 = 0.25 \pm 0.08 M_{\odot}$, and their ratio is $q = 0.43 \pm 0.09$. We analyzed the light curves using model atmospheres for irradiated stars; all the parameters of BE UMa were refined (Fig. 54).

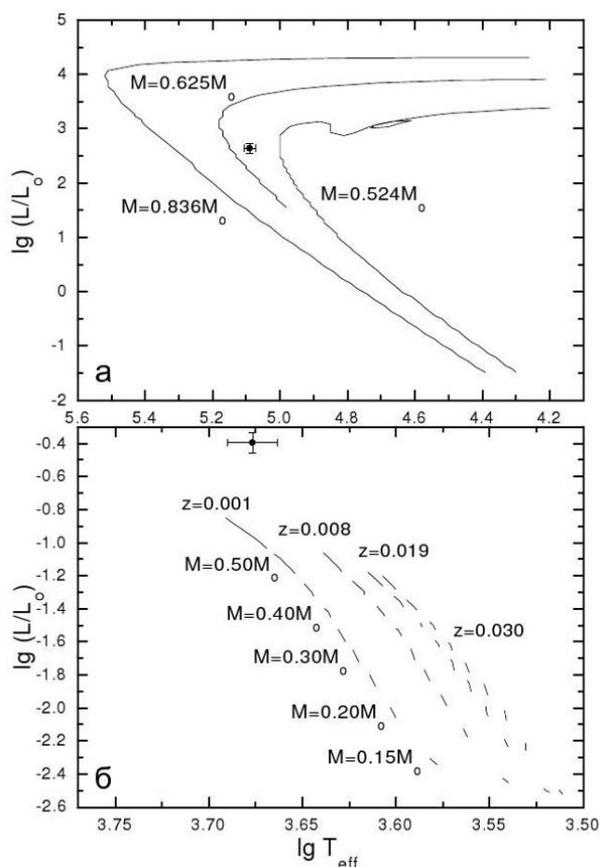


Рис. 54. Эволюционные треки $\lg T_{\text{eff}} - \lg(L/L_{\odot})$ для ядер планетарных туманностей (вверху) и звезд ГП ($z=0.030, 0.019, 0.008, 0.001$) (внизу). Положение главной и вторичной компоненты BE Uma отмечены кружками с указанием диапазонов ошибок.

Fig. 54. Evolutional tracks $\lg T_{\text{eff}} - \lg(L/L_{\odot})$ for the nuclei of planetary nebulae (top) and MS stars (bottom). The position of BE UMa are marked with circles with error ranges indicated.

Корректность моделирования спектров системы в фазах максимума блеска подтверждается хорошим совпадением с наблюдаемыми интенсивностями большинства линий тяжелых элементов. Содержание He и ряда легких элементов (C, N, O, Ne, Mg) в атмосфере холодной звезды завышено относительно солнечных значений. Физические характеристики

We demonstrate the validity of our modeling of the binary's spectra at phases of brightness maximum, which provides a good description of the observed intensities of most of the lines of heavy elements. The abundances of helium and several light elements (C, N, O, Ne, Mg) in the atmosphere of the cool star are excessive as compared to solar values. We conclude that the physical

первичной компоненты хорошо согласуются с эволюционными треками для ядер планетарных туманностей. Вторичная компонента оказалась ярче в 30 раз звезд ГП тех же масс.

Н.В. Борисов, В.В. Власюк, О.И. Спиридонова совместно с В.В. Шиманским, С.А. Поздняковой, И.Ф. Бикмаевым, Н.А. Сахибуллиным (КГУ). Письма АЖ, 34, 423 (2008).

Классификация тесных двойных систем с В-субкарликами.

Классификация тесных двойных систем, особенно молодых предкатаклизмических двойных (PCV) и дважды вырожденных двойных систем (DD-binaries), проводится с привлечением как спектральных, так и фотометрических данных. Применение этого метода к двойным с орбитальным периодом более 12 часов требует значительного количества наблюдательного времени.

characteristics of the primary are in good agreement with evolutionary tracks for planetary-nebula nuclei, and that the secondary is overluminous by a factor of 30 compared to main-sequence stars of the same mass.

N.V. Borisov, V.V. Vlasjuk, O.I. Spiridonova in collaboration with V.V. Shimanskii, S.A. Pozdnyakova, I.F. Bikmaev, N.A. Sakhibullin (KSU). Astronomy Letters, 34, 423 (2008).

Classification of Close Binary Systems with B-Type Subdwarfs

Classification of close binary systems, especially young pre-cataclysmic binaries (PCV) and double degenerate (DD) binaries, is made using both spectroscopic and photometric data.

Applying this method to the binaries with the orbital period of over 12 hours requires significant observational time.

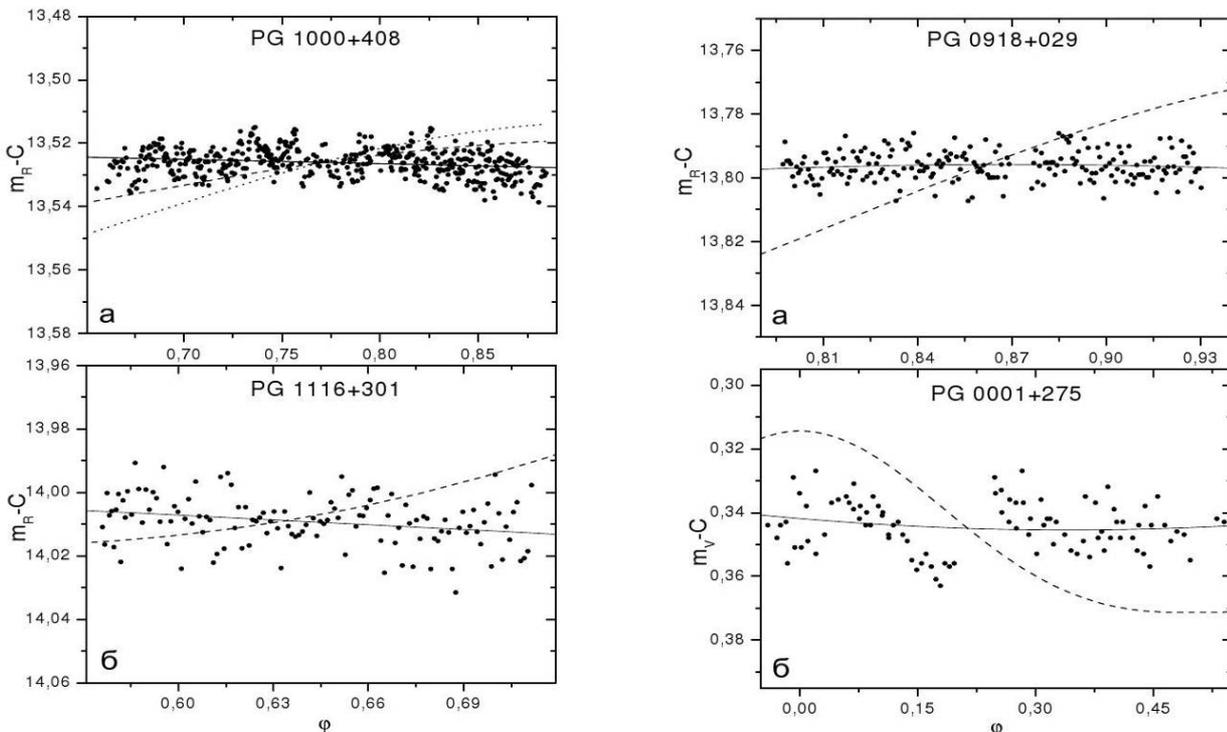


Рис. 55. Кривые блеска в избранных орбитальных фазах. Точками отмечены данные наблюдений, сплошными линиями — их аппроксимации, штриховыми и пунктирными линиями — теоретические кривые блеска в рамках модели с минимально и максимально возможными изменениями блеска.

Fig. 55. Light curves in chosen orbital phases. The dots mark the observational data, solid lines show their approximations, dashed and dotted lines are the theoretical light curves within the framework of the model with minimal and maximal luminosity variations.

Мы разработали модифицированный метод: наблюдения проводятся только в тех фазах орбитального периода, когда вариации яркости молодой PCV-системы достигают максимума. Сравнение наблюдаемых и теоретических кривых блеска позволяет классифицировать систему (рис. 55).

We modified the method: the observations are conducted only at such orbital period phases, when the luminosity variations of a young PCV system reach the maximum. Based on a comparison of the observed light curves and theoretical predictions for their variations, a system in question can be classified (Fig. 55).

В результате наблюдений на БТА, Цейс-1000 и турецком 1.5-м телескопах проведена классификация четырех систем с В-субкарликами. PG 1000+408 и PG 0001+275 являются тесными двойными и принадлежат к классу DD-систем. PG 0918+029 и PG 1116+301 относятся к тесным двойным системам с sdB-компонентами.

Н.В. Борисов, В.В. Власюк, О.И. Спиридонова совместно с В.В. Шиманским, И.Ф. Бикмаевым, Н.А. Сахибуллиным, А.И. Галеевым (КГУ). АЖ, 52, 729 (2008).

As a result of observations on BTS, Zeiss-1000 and a Turkish 1.5-m telescope, a classification of four close binaries with subdwarf B components was made. PG 1000+408 and PG 0001+275 are close binaries belonging to the DD-system class. PG 0918+029 and PG 1116+301 are close binaries with with sdB components.

N.V. Borisov, V.V. Vlasyuk, O.I. Spiridonova, in collaboration with V.V. Shimanskiy, I.F. Bikmaev, N.A. Sakhbullin, A.I. Galeev (KSU). Astronomy Reports, 52, 729 (2008).

УЛЬТРАЯРКИЕ ИСТОЧНИКИ

РЕНТГЕНОВСКИЕ

ULTRA LUMINOUS X-RAY SOURCES

Окружение ультра-яркого источника в NGC 7331

рентгеновского

Environment of Ultra Luminous X-Ray Source in NGC 7331

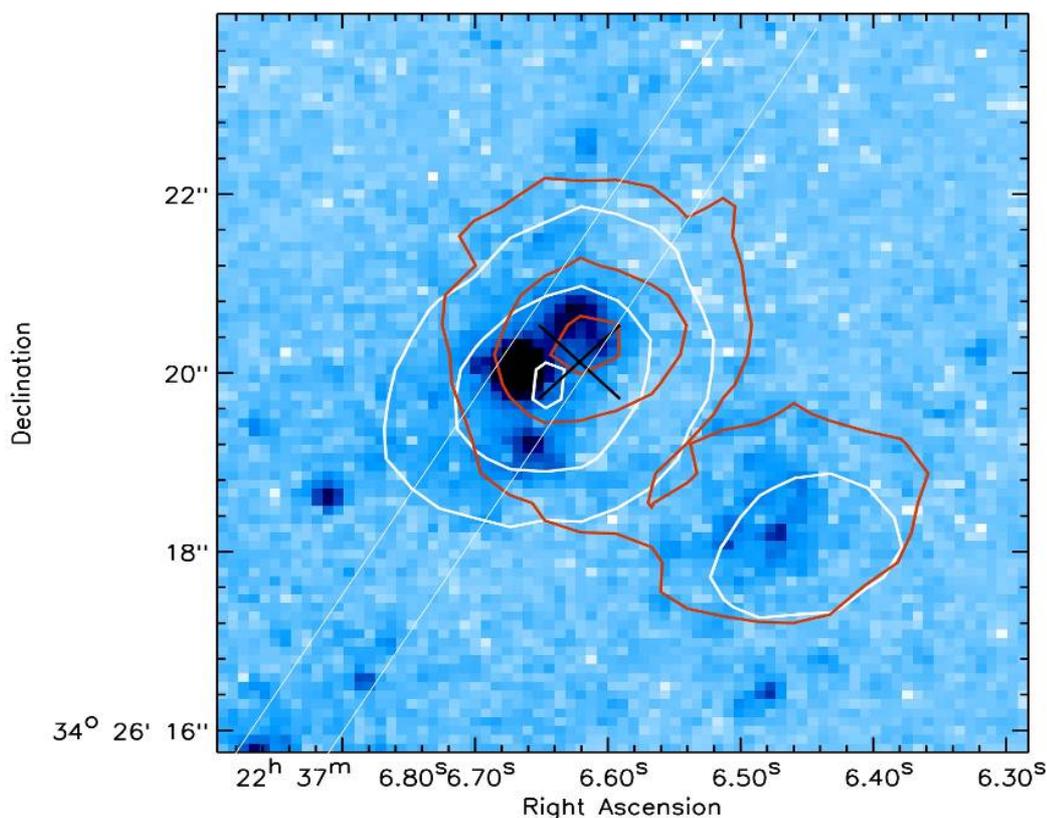


Рис. 56. Молодое скопление звезд с NGC 7331 ULX-1 (HST/ACS, фильтр В). Черным крестиком показано положение рентгеновского источника (длина отрезка соответствует боксу ошибок). Две белые прямые линии показывают положение щели спектрографа SCORPIO. Белыми изофотами нарисовано распределение горячего газа в линии [OIII] 5007Å красными — в линии H α .

Fig. 56. Young star cluster with NGC 7331 ULX-1 (HST/ACS, B filter). Black cross identifies the position of the X-ray source (the leg size corresponds to the error box). Two horizontal white lines show the slit position of the SCORPIO spectrograph. White isophotes show the hot gas distribution in the [OIII] 5007Å line, red isophotes — in the H α line.

В галактике NGC 7331 изучено молодое массивное скопление, в котором находится ультраяркий рентгеновский источник NGC 7331 ULX-1 (рис. 56). Определены параметры скопления и окружающей его туманности. Масса скопления составляет $1.1 \cdot 10^5 M_{\odot}$, возраст скопления ~ 4.2 млн. лет,

A young massive star cluster with an ultraluminous X-ray source NGC 7331 ULX-1 was studied in the NGC 7331 galaxy (Fig. 56).

We determined the parameters of the cluster and the surrounding nebula. The star cluster's mass is $1.1 \cdot 10^5 M_{\odot}$, its age is about 4.2 Myr, the value of

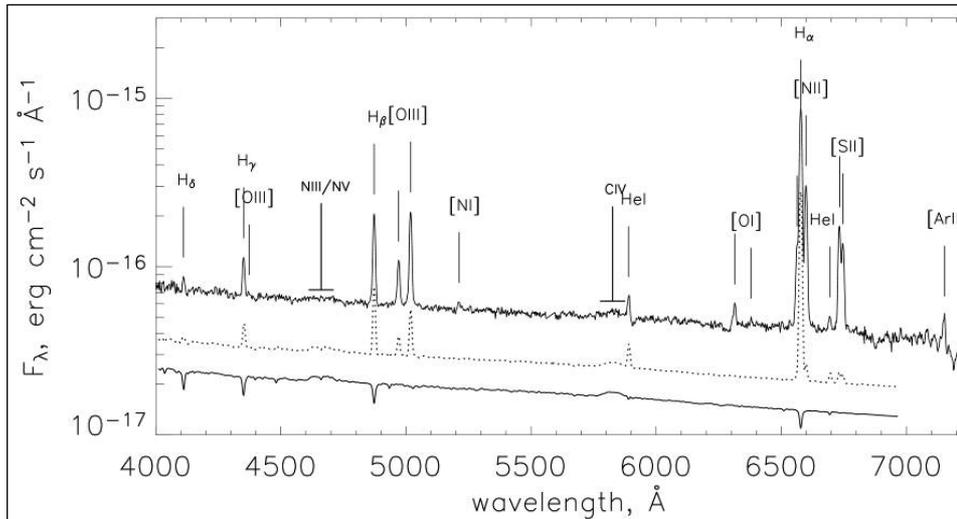


Рис. 57. Вверху: спектр (БТА/SCORPIO) скопления и туманности. Внизу: модельные спектры скопления (пунктирная линия) и туманности и скопления (сплошная линия). В модельных спектрах линии, ионизованные УФ-излучением, хорошо согласуются, а возбуждаемые столкновениями, оказываются в несколько раз слабее наблюдаемых линий. Если в скоплении находится один объект типа SS 433 или MF16 (NGC 7331 ULX-1), то это может полностью объяснить наблюдаемую картину.

Fig. 57. Top: BTA/SCORPIO spectrum of the cluster and the nebula. Bottom: model spectra of the cluster (dotted curve), and of the cluster and the nebula combined (solid line). In the model spectra, the UV emission photoionization-excited lines are in a good accord with the observations, and the lines with collision excitation are several orders fainter than the observed ones. In case a cluster has one object like SS 433 or MF16 (NGC 7331 ULX-1), this may fully interpret the observed picture.

величина межзвездного поглощения $A(V) = 1.43$. Подсчитано количество остатков сверхновых и звезд WR. Для образования черной дыры за время эволюции скопления предшественник ULX должен иметь массу не менее 40-50 M_{\odot} .

Модельный эмиссионный спектр туманности и скопления (рис. 57) объясняется фотоионизацией излучением молодых звезд скопления, а не ударным возбуждением. Для последнего требуется в 5 раз больше механической энергии, чем могут дать все найденные сверхновые и звезды WR. Для объяснения наблюдаемой светимости скопления в линиях [OI], [NII], [SII] нужна дополнительная механическая энергия ($\sim 10^{39}$ эрг/с), которую могут дать объекты типа SS 433 или NGC 6946 ULX-1. Как полученная оценка ветровой/струйной активности, так и наличие яркого УФ источника, свидетельствуют в пользу того, что ULX-источник в NGC 7331 – массивная рентгеновская двойная со сверхкритическим аккреционным диском.

П.К. Аболмасов, С.Н. Фабрика, О.Н. Шолухова совместно с Д.А. Шварцем, К.К. Гхошем, А.Ф. Тенантом (USA). *AJ*, **668**, 124 (2007).

Туманность MF16 с ультраярким рентгеновским источником в NGC 6946

В галактике NGC 6946 на БТА/SCORPIO изучена туманность MF16, окружающая ультраяркий рентгеновский источник NGC 6946 ULX-1 (рис. 58). Определены ее масса, плотность, температура газа и

interstellar absorption $A(V) = 1.43$. We calculated the number of supernova remnants and WR-stars. The ULX progenitor must have been greater than 40-50 solar masses in order to already have evolved into a black hole during the evolution of the stellar cluster.

The model emission line spectrum of the cluster and the nebula (Fig. 57) can be interpreted as a result of photoionization by the young cluster, and not by a source of shock excitation. This additional source needs to have as much as five times more mechanical energy than all the detected supernovae and WR stars may provide. Additional mechanical energy input ($\sim 10^{39}$ erg/s) is needed to explain the observed luminosity in the [OI], [NII], [SII] lines, which may be provided by the objects like SS 433 or NGC 6946 ULX-1.

Both the obtained estimate of the wind/flux activity, and the presence of a bright UV source testify to the fact that the ULX in NGC 7331 is a massive X-ray binary with a supercritical accretion disk.

P.K. Abolmasov, S.N. Fabrika, O.N. Sholukhova in collaboration with D.A. Swartz, K.K. Ghosh, A.F. Tennant (USA). *AJ*, **668**, 124 (2007).

MF16 Nebula with Ultra-Luminous X-Ray Source in NGC 6946

In the NGC 6946 galaxy using the BTA/SCORPIO we studied the MF16 nebula, surrounding an ultra luminous X-ray Source NGC6946 ULX-1 (Fig. 58). Its mass, density, gas temperature and expansion velocity

скорость расширения. В MF16 обнаружено множество линий элементов с высокой степенью ионизации, которые могут появиться только при фотоионизации газа УФ или рентгеновским излучением. Туманность вокруг ULX расширяется со скоростью около 100 км/с и возбуждается двумя механизмами – фотоионизацией и диссипацией ударных волн. MF16 имеет слишком большую светимость и размер, чтобы ее можно было отнести к остатку сверхновой. Наблюдаемая картина объясняется выбросом струй из источника, расположенного в центре туманности. Из чего мы полагаем, что ULX в NGC 6946 – сверхкритический аккреционный диск в массивной двойной системе с черной дырой.

Обнаружено, что NGC 6946 ULX-1 не может обеспечить высокую степень ионизации туманности, и требуется дополнительный источник энергии ($\sim 10^{40}$ эрг/с) в далеком УФ-диапазоне, т.е. ULX должен быть ярким в этой области спектра. Это подтверждается моделированием спектра самой туманности. На рис. 59 показано модельное распределение энергии NGC 6946 ULX-1. Этот спектр похож на спектр SS 433 и объясняет наблюдаемые интенсивности линий туманности.

are determined. A lot of high ionization lines are discovered in MF16, which can only appear at UV or X-ray photoionization of the gas. The nebula surrounding the ULX is expanding with the velocity of about 100 km/s, and it is excited via two mechanisms, photoionization and dissipation of shock waves.

The luminosity and mass of MF16 are overly large to interpret it as a supernova remnant. The observed situation is explained by a massive outflow in the form of jets from the source located at the centre of the nebula. Therefore, we conclude that ULX in NGC 6946 is a supercritical accretion disk in a massive binary with a black hole.

It is discovered that NGC 6946 ULX-1 cannot provide high ionization of the nebula, and a supplementary source, responsible for powering the nebula ($\sim 10^{40}$ erg/s) is needed in the EUV range, i.e. the ULX has to be bright in this part of the spectrum. This is confirmed by modeling the spectrum of the nebula itself.

Fig. 59 shows the model energy distribution in NGC 6946 ULX-1.

This spectrum resembles the one of the peculiar binary SS 433 and explains the observed nebula line intensities.

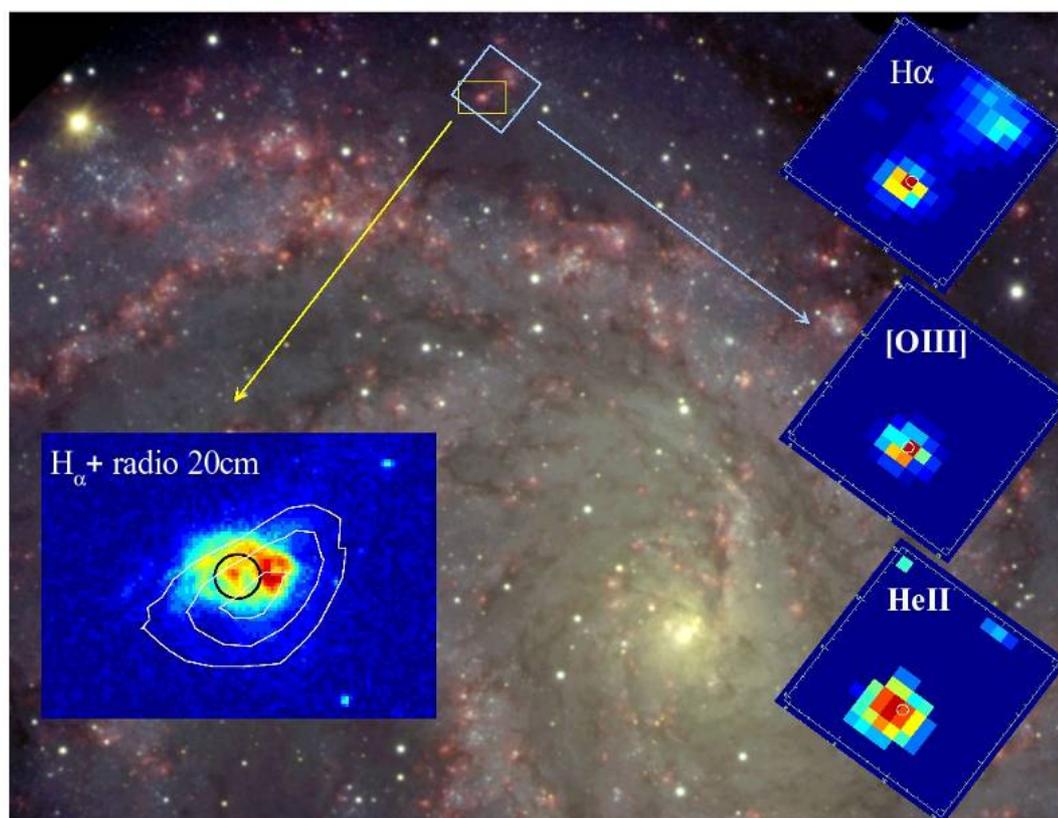


Рис. 58. Панорамная спектроскопия туманности MF16. Слева: изображение туманности MF16 в H_α (HST) с наложенными изофотами на волне 20 см (VLA, США). Кругом отмечено положение рентгеновского источника (Chandra). Справа: карты области, полученные на MPFS (БТА) в разных спектральных линиях.

Fig. 58. Panoramic spectroscopy of eth MF16 nebula. Left: MF16 image in H_α (HST) with isophotes overlaid at 20 s wavelength (VLA, USA). The circle marks the X-ray source location (Chandra). Right: area maps, obtained on MPFS (BTA) in different spectral lines.

Популярны две модели, объясняющие природу ULX-источников. В первой - это объекты, относящиеся к молодому звездному населению, со сверхкритическими аккреционными дисками вокруг черных дыр звездных масс (типа SS 433). Излучение объектов коллимируется в канале, ориентированном вдоль оси диска. Во второй модели ULX могут быть черным дырам промежуточных масс ($\sim 10^3 M_\odot$), которые появились до формирования галактик и были захвачены ими позднее. В последнем случае ULX - старое население. Можно отличить сверхкритический аккреционный диск от стандартного диска у черных дыр промежуточных масс по наклону спектра (рис. 59) в далеком УФ-диапазоне. На основе SED MF16 мы оценили возможность наблюдений ULX-источников в ближайших галактиках с помощью УФ-обсерватории GALEX.

П.К. Аболмасов, С.Н. Фабрика, О.К. Шолухова совместно с Т. Котани (Япония).

Two models are the most popular in explaining the nature of ULX sources. The first model renders them as supercritical accretion disks around stellar mass black holes, like that of SS 433, the emission from which is collimated in a channel, oriented along the disk axis, and they belong to the young galaxy population.

In the second model, the ULXs are Intermediate-Mass Black Holes (IMBH) with masses around $10^3 M_\odot$ that appeared before the galaxy formation period and were captured by the latter later on. Here the ULX belong to the old galaxy population. The supercritical accretion disk may be distinguished from the standard disk of the intermediate-mass black holes by studying the spectral slopes (Fig. 59) in the far UV range.

Based on the SED of MF16 we estimated the possibility of ULX source observations on the UV GALEX observatory.

P.K. Abolmasov, S.N. Fabrika, O.K. Sholukhova in collaboration with T. Kotani (Japan).

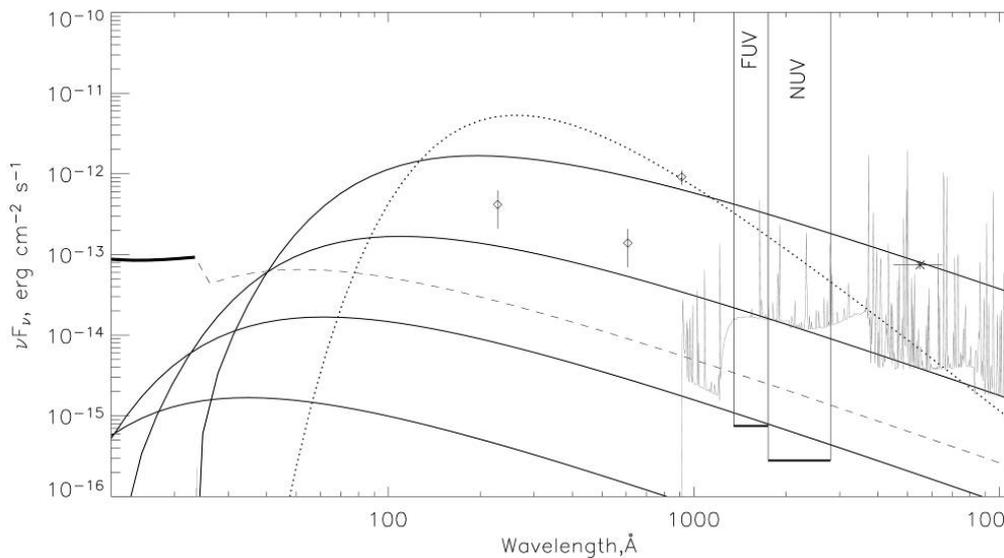
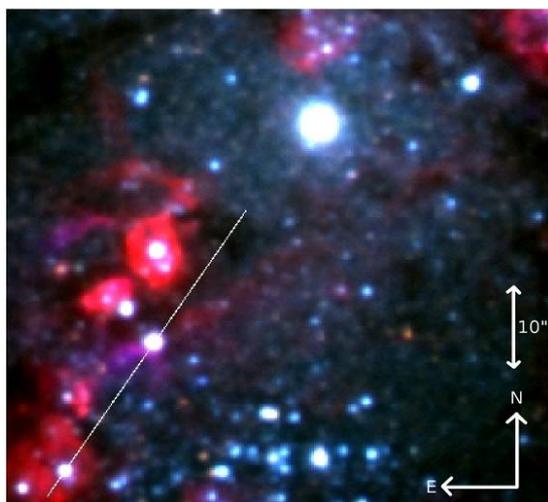


Рис. 59. Спектральное распределение энергии NGC 6946 ULX-1 и туманности MF16. Данные в рентгеновском диапазоне (Chandra) отмечены жирной линией. Ее продолжение пунктиром - модель «многоцветного аккреционного диска» (MCD) как наилучшего приближения, объясняющего наблюдаемый рентгеновский спектр. Оценки потоков ионизирующего излучения в линиях HeII, HeI, H_β показаны кружками с вертикальными отрезками. Звездочкой отмечен поток излучения звезды «d», которая расположена в центре черного кружка на рис. 58. На $\lambda > 1000 \text{ \AA}$ тонкой сплошной линией нарисован модельный спектр туманности и показаны предельные уровни регистрации УФ-излучения для обсерватории GALEX (полосы NUV и FUV). Четыре сплошные линии показывают модельный спектр излучения от аккреционных дисков черных дыр массой от 10 (самая нижняя линия) до 10000 M_\odot при темпе аккреции 1% от критического уровня. Пунктиром показан модельный спектр излучения черного тела с температурой 100000°K.

Fig. 59. Spectral energy distribution of NGC6946 ULX-1 and the MF16 nebula. The best-fit X-ray data (Chandra) are shown by a thick solid line. Its continuation by a dashed curve shows the behaviour of the Multicolour Accretion Disk (MCD) component as the best approximation, explaining the observed X-ray spectrum. Ionizing flux estimates for HeII, HeI and H_β are shown by diamonds with error bars. Asterisk corresponds to the optical source d, located at the centre of the black circle on Fig. 57. At $\lambda > 1000 \text{ \AA}$ a thin solid line is a model spectrum of the nebula and the limiting levels of the GALEX observatory UV recording range (NUV and FUV passbands). Four solid lines show the model spectra of the accretion disks for different black hole masses - from 10 (the lowest line) to 10000 M_\odot accreting at 1% of the critical accretion rate. The best-fit black body spectrum obtained at 100000°K is shown by a dotted line.

Яркая переменная звезда в галактике М33

В галактике М33 обнаружена (рис. 60) LBV-звезда. Такие звезды относятся к наиболее массивным звездам ($>50 M_{\odot}$) на заключительных стадиях эволюции перед вспышкой сверхновой. Звезда N93351 – седьмая и самая яркая из LBV-звезд в галактике М33. Ее светимость составляет $2 \cdot 10^6 L_{\odot}$, масса $\sim 100 M_{\odot}$. Звезда оказалась переменной также в ИК-диапазоне и имеет еще избыток ИК-излучения.



Luminous Variable Star in M33 Galaxy

A new LBV (Luminous Blue Variable) star was detected in M33 galaxy (Fig. 60). Such stars are the most massive stars ($>50 M_{\odot}$) in the final stages of evolution before exploding in supernovae. N93351 is the seventh and most luminous LBV in M33. Its luminosity is $2 \cdot 10^6 L_{\odot}$, its mass is about $100 M_{\odot}$. In the infrared spectral range it is variable as well, and has an excess of IR emission.

Рис. 60. Самый яркий объект на снимке – ядро галактики М33. Через LBV-звезду N93351 и еще одну звезду проходит щель спектрографа (белая линия). N93351 расположена на расстоянии 400 световых лет от центра М33 и находится в зоне гравитационного влияния ядра галактики.

Fig. 60. The brightest blue object is the nucleus of the M33 galaxy. The spectral slit (a white line) goes through the new LBV star N93351 and another star. N93351 is located at the distance of 400 light years from the galactic core, being in the zone of its gravitational effect.

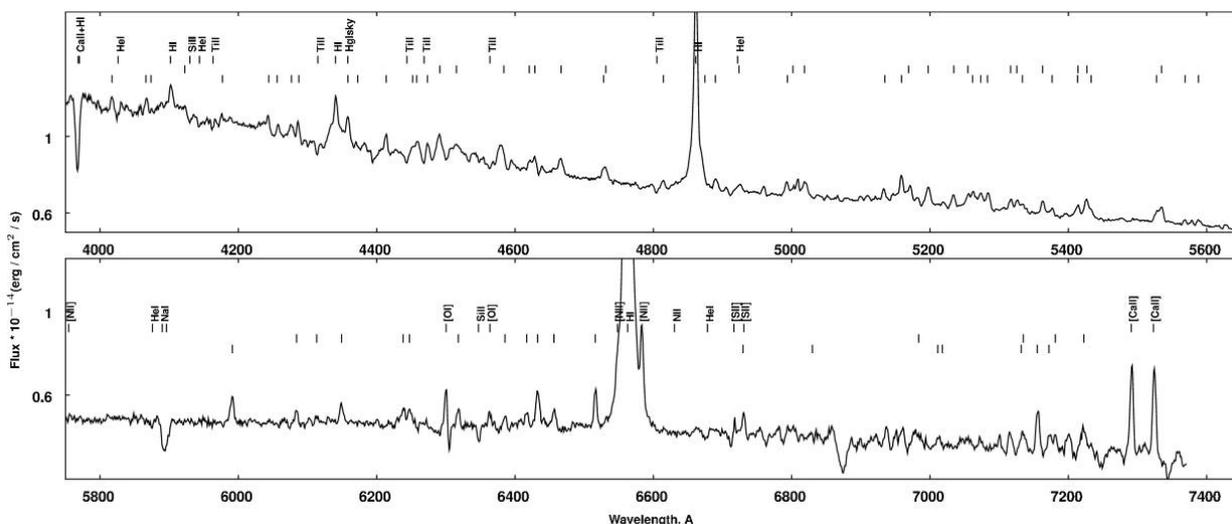


Рис. 61. Спектр N93351 (BTA/SCORPIO). Самые яркие линии в спектре – линии водорода в атмосфере и ветре звезды, самые многочисленные линии – линии ионизованного железа FeII и [FeII]. Кроме них видны линии поглощения Ti, Mg и He.

Fig. 61. Spectra of N93351 (BTA/SCORPIO). The brightest spectral lines are hydrogen lines in the atmosphere and in the stellar wind, the most numerous lines are the ionized FeII and [Fe II] lines. The Ti, Mg and He absorption lines are visible as well.

По полученным спектрам (рис. 61) определена температура звезды - 16000°K . По данным Spitzer обнаружено, что звезда окружена двумя пылевыми оболочками с температурами 900 и 420°K . Скорость звездного ветра составляет 200 км/с .
 А.Ф. Валеев, О.Н. Шолухова, С.Н. Фабрика. MNRAS, 396, L21, (2008).

The star's temperature (Fig. 61), measured on the obtained spectra is 16000°K . According to the data by the Spitzer Space Telescope, the star is surrounded by two dust envelopes with the temperatures of 900 and 420°K . The velocity of the star's wind is 200 км/с .
 A.F. Valeev, O.N. Sholukhova, S.N. Fabrika. MNRAS, 396, L21, (2008).

Обнаружение пульсаций в системе CI Cam

CI Cam (XTE J0421+560) – кратная система, состоящая из звезды класса В4 III-V с В[e]-феноменом, компактного объекта (возможно, белого карлика на эксцентрической орбите с периодом 19.407^d) и массивного третьего компонента. Третий компонент вызывает медленное доплеровское смещение линий ветровой оболочки, включая запрещенную линию [N II] 5755 Å.

В 1998 г. в CI Cam произошла вспышка, наблюдавшаяся во всех диапазонах длин волн. Она объясняется взрывом водорода, накопившегося в результате аккреции из плотной околозвездной оболочки и звездного ветра В[e]-звезды на поверхность белого карлика.

У CI Cam наблюдается быстрая переменность в течение ночи с амплитудами до 0.07^m (рис. 62). Для выяснения ее природы проведены фотометрические наблюдения и спектральные наблюдения высокого разрешения (БТА+НЭС) этой системы.

В кривой блеска доминируют две волны с периодами 0.4152^d и 0.2667^d и полными амплитудами 0.019^m и 0.017^m. При высоком спектральном разрешении в профилях слабых линий He на разных лучевых скоростях видны узкие абсорбционные компоненты, что характерно для пульсирующих звезд. Причиной быстрой переменности являются пульсации звезды класса В4 III-V.

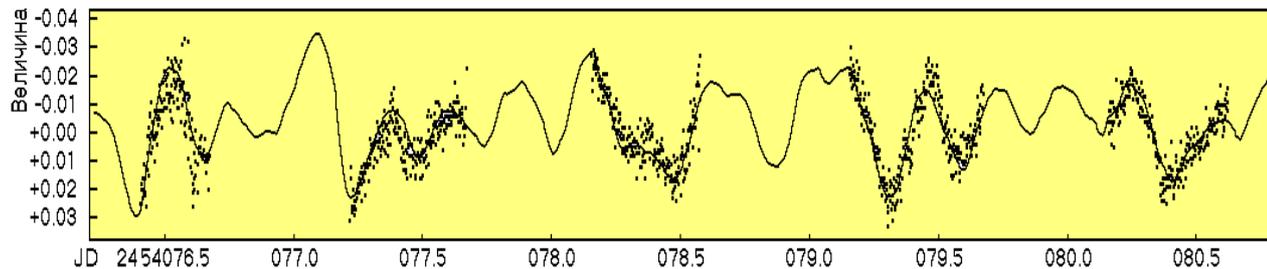


Рис. 62. Кривые блеска CI Cam, полученные при фотометрическом мониторинге на 50-см телескопе Крымской станции ГАИШ МГУ.

Fig. 62. CI Cam light curves, obtained during the photometric monitoring with the 0.5-m telescope of the Crimean station of the SAI MSU.

Подобные пульсации часто встречаются у звезд спектрального класса В, которые связаны с формированием газовых дисков. Но у звезд с В[e]-феноменом пульсации ранее не наблюдались. Их открытие у главного компонента CI Cam важно как для изучения его внутреннего строения, так и для понимания формирования газовых и пылевых дисков у горячих звезд.

Е.А. Барсукова совместно с В.П. Горанским (ГАИШ МГУ).

Исследование вспышки красной новой V838 Mon

Проведены спектральные и фотометрические наблюдения в 2004-2008 гг. V838 Mon, вспышка

Pulsations in the CI Cam System

CI Cam (XTE J0421+560) is a multiple system with a B4 III-V star displaying a B[e] phenomenon, a compact object, probably a white dwarf on an eccentric orbit with the period of 19.407 days, and a massive third companion of unknown nature which causes the slow Doppler shift of the wind envelope's lines, including the forbidden line [N II] 5755 Å.

In 1998 a powerful outburst in all parts of electromagnetic spectrum underwent in CI Cam. The explosion is treated as a thermonuclear explosion of hydrogen accumulated as a result of accretion from the dense circumstellar envelope and stellar wind of the B[e] on the surface of the white dwarf.

CI Cam shows fast intranight variability with the amplitudes of up to 0.07^m (Fig. 62). To understand the nature of its variability, photometric monitoring and the follow-up high resolution spectral observations were conducted with BTA/NES.

The amplitude spectrum of the star is dominated by two peaks corresponding to the periods of 0.41521 and 0.26647 days, and full amplitudes of 0.019^m and 0.017^m. High-resolution spectra show narrow absorption components in the He weak line profiles at different radial velocities, which is typical for pulsating stars. It is shown that that rapid variability is due to the pulsations of the B4 III-V type component.

Pulsations of CI Cam resemble those of B stars, linked with the formation of dust disks. But in a B[e] star the pulsation phenomenon is observed for the first time. Its discovery in the CI Cam primary is important both for the study of its internal structure, and for the understanding of the way the circumstellar gas and dust disks form in hot stars.

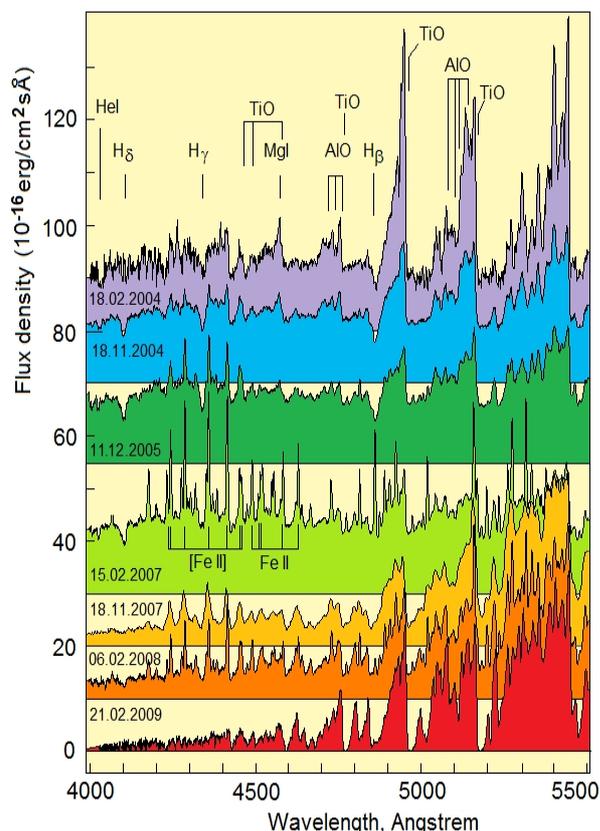
E.A. Barsukova, in collaboration with V.P. Goranskij (SAI MSU).

Study of Red Nova V838 Mon Outburst

Photometry and spectroscopy of V838 Mon, the outburst of which took place in 2002, were conducted in

которой произошла в 2002 г. До вспышки система состояла из двух горячих звезд класса B3V, причем взорвалась более яркая компонента. История взаимодействия звезд в этой системе, представлена на рисунке 63. Из-за сближения оболочки вспыхнувшей звезды со спутником и ионизации разреженного газа перед фронтом оболочки наблюдаются слабые запрещенные линии [FeII] в конце 2004 г.

В 2006 г. эмиссионный спектр усиливается, появляются разрешенные линии FeII, бальмеровские линии водорода и других элементов, т.е. горячая звезда пришла в соприкосновение с плотным газом расширяющейся оболочки. В декабре 2006 - январе 2007 г. горячий спутник исчез полностью из спектра на 70 дней из-за холодного газа, который перекрыл излучение в направлении наблюдателя. При этом эмиссионный спектр не стал слабее, потому что в других направлениях излучение горячей звезды свободно ионизовало окружающий плотный газ.



2004-2008. Prior to the outburst, the system consisted of two B3V hot stars, where the more luminous component exploded. Figure 63 represents the history of the system's components interactions. Weak iron forbidden lines [FeII] were observed at the end of 2004 as a result of the approach of the envelope of the exploded star to the companion, and radiation of hot ionized gas in front of the envelope.

In 2006 very strong emission-line spectrum flared up with numerous permitted lines of FeII, Balmer hydrogen lines, and other lines, i.e. the interaction of the dense material of the expanding envelope with the hot B3V companion became obvious. In the eclipse-like event in December 2006-January 2007, the hot B3V companion disappeared from the spectrum for the duration of about 70 days caused by an eclipse by a cold dust cloud in the direction of the observer. The emission-line spectrum did not become fainter, as the radiation of the hot star was freely ionizing the surrounding dense gas in the other directions.

Рис. 63. Спектральная эволюция V838 Mon после взрыва (сверху вниз). Отождествлены абсорбционные линии He и H горячей звезды, канти молекулярных полос AlO и TiO холодного остатка взрыва, эмиссии горячего ионизованного газа [FeII] и FeII, и интеркомбинационная линия холодного газа MgI. В диапазоне 4000-5000 ÅÅ виден переменный вклад непрерывного спектра горячей звезды класса B3V. Спектры получены на БТА со спектрографами UAGS (1-й сверху) и SCORPIO.

Fig. 63. V838 Mon spectral evolution after the ourburst (from top to bottom). We identified the He and H absorption lines of the hot star, AlO and TiO molecular band heads of the cold outburst remnant, hot ionized gas emissions [FeII] and FeII, and a MgI intercombined cold gas line. In the range 4000-5000 ÅÅ a variable contribution of the continuum spectrum of the B3V hot star can be seen. The spectra are obtained with BTA with UAGS (1 from top) and SCORPIO spectrographs.

Полагаем, что это явление связано с формированием аккреционного диска около горячей звезды в ее полости Роша. На этот момент радиус остатка вспышки, а значит, и расстояние между компонентами в системе оценивался в 30000 R_⊙ (150 а.е.). Радиус горячей звезды составляет 5-7 R_⊙.

В феврале 2007 г. свет горячего спутника появился в спектре звезды. Однако с осени 2007 г. вклад горячей звезды и эмиссионного спектра в общее распределение энергии опять значительно снизился. Точная фотометрия в это время

We explain this event as the formation of temporal short-lived accretion disc around the hot companion in its Roche lobe. We can estimate the radius of the cool remnant, and hence the distance between the companions, to be equal to 30000 R_⊙ (150 A.U.). The radius of the hot star is 5-7 R_⊙.

In February 2007, the light of the hot star reappeared in its spectrum. Since the autumn 2007, however, the contribution of the hot star and the emission spectrum in the total energy distribution has substantially fallen. Exact photometry then showed the fast variability

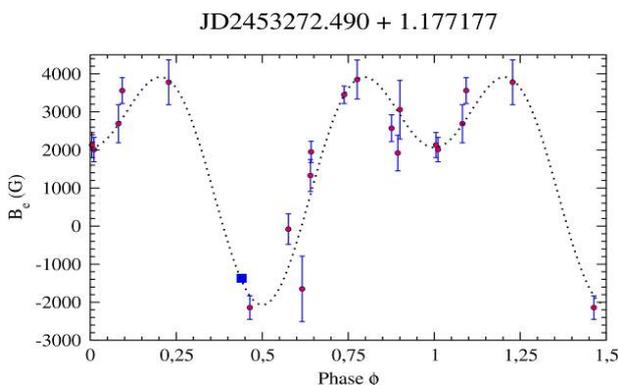
показывала быструю переменность в коротковолновом диапазоне. Причиной ее, полагаем, было движение горячей звезды сквозь верхние слои оболочки сверхгиганта – остатка взрыва, которые имели облачную структуру. Фотометрия с октября 2008 г. уже не обнаруживала горячую звезду. В спектре виден только один холодный сверхгигант класса М9. Горячий спутник оказался внутри оптически толстой оболочки холодного сверхгиганта. Возможно, через некоторое время оболочка сверхгиганта станет все-таки прозрачной из-за продолжающегося расширения.

Е.А. Барсукова, С.Н. Фабрика, А.Ф. Валеев совместно с В.П. Горанским, А.В. Жаровой, Н.В. Метловой и С.Ю. Шугаровым (ГАИШ МГУ).

ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД

HD 45583. Обнаружен уникальный объект, который представляет большой интерес для изучения эволюции магнетизма CP-звезд. В течение 5-ти лет получено около 20 измерений продольного компонента магнитного поля, которое меняется сложным образом от -2 кГс до +4 кГс (рис. 64). Период изменения магнитного поля ($P=1.177^d$) совпадает с фотометрической и спектральной переменностью, из чего следует, что изменение поля является следствием вращения звезды.

В рамках простой модели наклонного ротатора структура поля объясняется комбинацией сильно нецентрального диполя и соосного с ним октуполя. Центр диполя смещен на 0.6 радиуса звезды от ее центра. Величина поля на полюсах диполя составляет ~17 кГс, а на полюсах октуполя достигает 45 кГс.



По спектрам с высоким разрешением (БТА/НЭС) мы обнаружили у нескольких линий расщепленные зеемановские компоненты и оценили усредненную по всей видимой поверхности величину поля B_s в 15 - 30 кГс. Спектры показывают, что имеется небольшой избыток Fe, Si и Cr. Звезда ($T_{\text{eff}}=12600^{\circ}\text{K}$) является членом скопления NGC 2232, возраст которого оценивается в 30 млн. лет. Других магнитных звезд в нем не обнаружено, что необычно для достаточно богатого горячими звездами скопления. HD 45583 входит в пятерку CP-звезд с

in short wavelength bands. Its reason was, apparently, the grazing movement of the hot star in the outer layers of the cool supergiant - the remnants of the 2002 outburst having a cloudy structure.

Since October 2008 the hot star does not appear in photometric observations. Only the M9 class cold supergiant is seen in the spectrum.

The hot companion is within the optically dense envelope of the cold supergiant. It is not impossible that in some time the supergiant's envelope will become transparent because of the ongoing expansion.

E.A. Barsukova, S.N. Fabrika, A.F. Valeev in collaboration with V.P. Goranskij, A.V. Zharova, N.V. Metlova, S.Yu. Shugarov (SAI MSU).

STUDIES OF MAGNETIC STARS

HD 45583. A unique object was discovered, which is of big interest for the study of CP stars magnetism. During five years of observations we obtained about 20 measurements of the longitudinal component of magnetic field, which varies in a complex way from -2 kG to +4 kG (Fig. 64).

The period of spectral and magnetic variability coincides with the rotation period, which is equal to 1.177^d . Thus the variation of the field is a consequence of the star's rotation.

Within the framework of a simple model of an inclined rotator, the field's structure is explained by a combination of a strongly noncentral dipole and a coaxial octupole. The dipole centre is displaced by 0.6 of the radius of the star from its centre. The field magnitude on the poles of the dipole is around 17 kG, and on the octupole's poles it reaches 45 kG.

Рис. 64. Кривая переменности продольной компоненты поля HD 45583.

Fig. 64. The variation curve of the longitudinal component of HD 45583 magnetic field.

Using the high resolution spectra (БТА/НЭС), we discovered split Zeeman components in several lines, and estimated the average throughout the surface magnetic field strength B_s at 15 - 30 kG. Spectra show a slight overabundance of Fe, Si and Cr. The star ($T_{\text{eff}}=12600^{\circ}\text{K}$) is a member of the NGC 2232 cluster, which is considered to be around 30 million years old.

There are no other magnetic stars discovered there, which is unusual for a star cluster quite rich in hot stars. HD 45583 is one of five stars with strongest magnetic fields.

сильнейшими полями. Магнитное поле такой сложной структуры наблюдается лишь у нескольких CP-звезд.

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

Magnetic field of such a complex structure is observed in only a few CP stars.

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

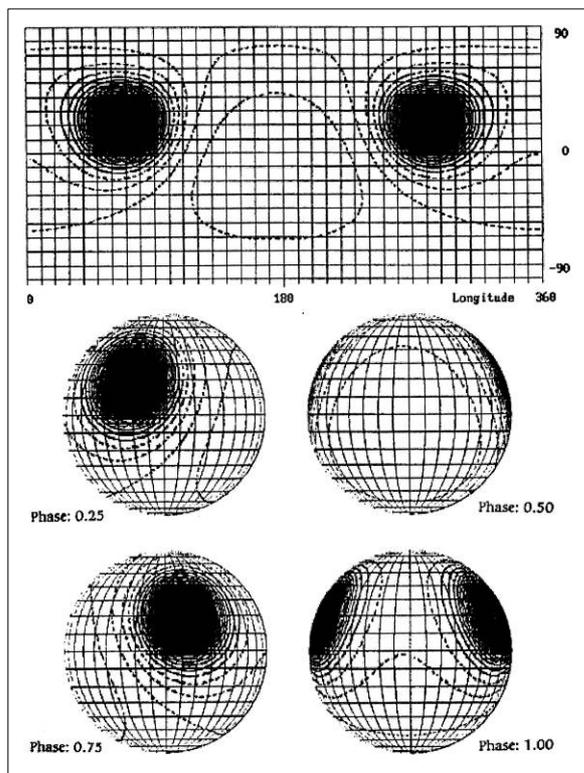


Рис. 65. Модель магнитного поля HD 45583.

Fig. 65. The magnetic field model of HD 45583.

Методом «магнитных зарядов» разработана модель структуры магнитного поля HD 45583. Наблюдательные данные хорошо описываются конфигурацией из двух магнитных диполей, расположенных по обе стороны от центра звезды, причем оси диполей направлены приблизительно в радиальном направлении.

Положительные «монополи» оказываются ближе к поверхности, а отрицательные - ближе к центру. По этой причине на поверхности звезды оказываются два положительных магнитных полюса и отсутствуют отрицательные полюса (рис.65).

Ю.В. Глаголевский совместно с Е. Гертом (Германия).

Using the magnetic charge method we elaborated a model of the HD 45583 magnetic field structure. The observational data are well described by a configuration of two magnetic dipoles located on other sides relative to the star's center, while their axes are directed roughly in the radial direction.

The positive monopoles are closer to the surface, and the negative monopoles are closer to the star's center. For this reason, there appear to be two positive magnetic poles on the star's surface, with an absence of negative poles (Fig. 65).

Yu.V. Glagolevskij in collaboration with E. Gerth (Germany).

HD 37776 - нестандартная магнитная звезда, окруженная туманностью. Ее возраст оценивается в ~1 млрд. лет. HD 37776 имеет очень сильное магнитное поле сложной конфигурации (~70-80 кГс).

У этой магнитной звезды впервые для CP-звезд Главной последовательности обнаружено увеличение периода осевого вращения на 17.7 ± 0.7^s за 31 год ($\Delta P/P = 4.0 \cdot 10^{-6}$ в год). Это явление мы объясняем магнитным торможением самой звезды или, по крайней мере, ее поверхностных слоев. Потеря углового момента происходит из-за взаимодействия звездного ветра с магнитным полем.

И.И. Романюк, Д.О. Кудрявцев совместно с З. Микулашеком и др., Astronomy and Astrophysics, 485, 585 (2008).

HD 37776 is an abnormal magnetic star; it is surrounded by a nebula. Its age is about 1 Gyr. The star has a very strong magnetic field with a complex configuration (~70-80 kG).

For the first time in a CP star on the MS the magnetic drag was discovered. HD 37776 has lengthened its axial rotation period by 17.7 ± 0.7^s over the past 31 years ($\Delta P/P = 4.0 \cdot 10^{-6}$ per year). We interpret this ongoing rotation period increase as a magnetic drag of the star itself, at least in its surface layers. The angular momentum loss takes place due to the interaction of the stellar wind with the extended stellar magnetosphere.

I.I. Romanyuk, D.O. Kudryavtsev in collaboration with Z. Mikulasek et al., Astronomy and Astrophysics, 485, 585 (2008).

HD 21699. По спектрам, полученным в разных фазах периода вращения, определено распределение гелия и кремния по поверхности HD 21699. Содержание гелия низкое, но в области магнитных полюсов его больше, предположительно из-за влияния ветра. Кремний скапливается в области с горизонтальным расположением магнитных силовых линий, что совпадает с теоретическими расчетами.

Содержание гелия и кремния увеличивается с глубиной, причем практически не изменяется с фазой вращения. Учет стратификации химических элементов заметно влияет на модельное распределение температуры с глубиной, а также на форму профилей линий водорода. Поле этой He-w звезды имеет два близко расположенных друг к другу магнитных пятна разной полярности. Расстояние между полюсами составляет $\sim 50^\circ$, а не 180° , как обычно наблюдается у магнитных CP-звезд.

Такая необычная конфигурация магнитного поля могла возникнуть из-за сдвига диполя поперек своей оси к поверхности звезды на половину ее радиуса. Полагаем, что сдвиг мог произойти из-за аккреции больших масс на ранних стадиях эволюции звезды.

Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов совместно с А.В. Шавриной (Украина) и др.

HD 115708. По спектрам с высоким разрешением исследован химический состав этой магнитной химически-пекулярной звезды ($T_{\text{eff}} = 7550^\circ\text{K}$). Он соответствует холодным Ap-звезд, но с существенно измененным равновесием для ионов редкоземельных элементов. Такой состав характерен для атмосфер пульсирующих Ap-звезд (roAp). Различия содержания Mg, Ca, Cr и Fe в верхних слоях и более глубоких слоях атмосферы достигает 1.5-3 порядка, Si распределен практически равномерно. Полученные распределения Cr и Fe количественно согласуются с результатами теоретических вычислений для процессов диффузии. Определен верхний предел амплитуды пульсаций - 100 м/с.

Е.А. Семенко, Д.О. Кудрявцев совместно с Т.А. Рябчиковой (ИНАСАН) и др.

Пространственное распределение CP-звезд

Получено пространственное распределение магнитных звезд, а также их кинематика и физические параметры в зависимости от положения в нашей Галактике. Концентрация CP-звезд возрастает к плоскости Галактики. Звезды с аномальным содержанием гелия и кремния имеют большую концентрацию к плоскости Галактики, чем SrCrEu-звезды.

Величины лучевых скоростей и собственных движений CP-звезд и ближайших к ним нормальных звезд тех же спектральных классов не имеют существенных различий. В рассеянных скоплениях CP-звезды распределены по всему объему скопления, не образуя выраженных группировок.

HD 21699. Helium and silicon distribution throughout the surface of HD 21699 was examined using the spectra obtained at different phases of the star's rotational period. The abundance of He over the whole surface is weak, but in the magnetic polar regions it is strong, apparently due to the impact of stellar wind. Silicon accumulates in the region with a horizontal alignment of the magnetic lines, as follows from the theory.

The abundance of He and Si increases with depth, and practically does not change with the rotational period phase. Accounting for the stratification of chemical elements considerably changes the deduced temperature distribution with depth as well as the form of the hydrogen line profile. The magnetic field of this He-w star has two closely located magnetic spots of different polarity. The distance between the poles is not 180° as it is in the case of a typical magnetic star, but around 50° .

This unusual configuration may be the result of a dipole's displacement from the star's centre, perpendicular to its axis. We presume that this shift could be caused by the accretion of large masses at the early stages of the star's evolution.

Yu.V. Glagolevskij, G.A. Chountonov in collaboration with A.V. Shavrina (Ukraine) et al.

HD 115708. Based on the high-resolution spectra abundance analysis for the magnetic chemically peculiar star ($T_{\text{eff}} = 7550^\circ\text{K}$) was made. It is shown to be typical of cool Ap stars with a significant ionization disequilibrium for the first and second rare earth ions, which is commonly observed in the atmospheres of pulsating Ap (roAp) stars. The difference in distribution of Mg, Ca, Cr, and Fe in the upper layers reaches 1.5-3 orders of magnitude. However, Si is distributed almost uniformly. The derived empirical Cr and Fe distributions agree with the results of theoretical diffusion calculations. We determined the upper limit for the amplitude of radial velocity pulsations, 100 m/s.

E.A. Semenko, D.O. Kudryavtsev in collaboration with T.A. Ryabchikova (INASAN), et al.

Spatial Distribution of CP-Stars

We obtained spatial distribution of CP-stars and their kinematics and physical parameters depending on the stars location in our Galaxy. The concentration of CP stars increases close to the Galactic plane. The stars with anomalous He and Si abundances have a bigger concentration around the Galactic plane than the SrCrEu stars.

The radial velocity and proper motion values of CP stars and those of the closest to them normal stars have no substantial differences between them. In scattered clusters the CP stars are distributed throughout the whole volume of the cluster, not forming any visible groups.

The rotational axis inclination angles to the line of sight

Углы наклона осей вращения к лучу зрения распределены равномерно, хотя для близких соседей, расстояния между которыми не превышает 10-20 пс, есть указания на преимущественную пространственную ориентацию.

И.И. Романюк, Е.А. Семенко.

Медленные СР-ротаторы

Продолжены исследования магнитные поля у СР-звезд с периодом вращения $>25^d$ (Отчет САО РАН 2004-2005, с. 69). В существующих моделях полагается, что замедление вращения СР-звезд возникает из-за потери момента вращения под влиянием магнитного поля. Наиболее сильная потеря происходит при параллельности оси диполя и оси вращения.

Мы обнаружили, что ориентация диполей у медленных ротаторов так же произвольна, как и у быстрых ротаторов, а зависимость периода вращения от магнитного поля обратная ожидаемому. Полагаем, что потеря момента вращения происходит без участия магнитного поля. Скорее всего, медленное вращение «досталось» на ранних стадиях возникновения СР-звезд из протозвездных облаков с малым моментом вращения. Медленные ротаторы могли сохранить реликтовое магнитное поле, а быстрые ротаторы стали нормальными немагнитными звездами.

Ю.В. Глаголевский совместно с Е. Гертом (Германия).

are distributed with equal probability, though for close neighbours, the distances between which do not exceed 10-20 pc, there are signs of a predominant spatial orientation.

I.I. Romanyuk, E.A. Semenko.

Slow CP Rotators

The research of the magnetic field of CP stars with rotational periods of $>25^d$ (SAO RAS Annual Report 2004-2005, p. 69) is in progress. It is considered in the existing models that the slowdown of the CP stars rotation appears due to the loss of angular momentum under the effect of the magnetic field. The highest rotation loss appears when the dipole axis is parallel to the rotational axis.

We demonstrated that the orientation of the dipole structures in slow magnetic rotators is random, as it is in fast rotators, and the dependence of the magnetic field on the rotation period is inverse to the expected one. We suppose, that the loss of angular momentum happens without participation of the magnetic field. Apparently this slow rotation was inherited at the early stages of CP stars' formation from the protostellar clouds with small rotational momentum. The slow rotators could have preserved the relic magnetic field, and the fast rotators became the normal non-magnetic stars.

Yu.V. Glagolevskij in collaboration with E. Gerth (Germany).