

ФИЗИКА ЗВЕЗД

GL 569B – КРАТНАЯ СИСТЕМА КОРИЧНЕВЫХ КАРЛИКОВ

Система Gliese 569 длительное время была известна как пара красных карликов на удалении 9.8 пк от Солнца. Маломассивный вторичный компонент пары Gl 569B имеет спектр позднего M-класса и светимость, несколько превышающую типичную светимость красных карликов поля. В 1999 г. Мартин и др. на телескопе Keck II установили, что Gl 569B состоит из пары звезд на удалении около 1 а.е. Год спустя мы начали спекл-интерферометрические наблюдения этой пары на телескопах БТА и ММТ в Аризоне с целью определить параметры видимого движения и оценить массы компонентов. Наблюдения выполнялись в инфракрасном диапазоне спектра. Восстановленное изображение пары показано на рис. 29.

Суммарный спектр пары Gl 569B совпадает со спектром звезды класса M8.5+, причем оба компонента имеют одинаковые температуры. Вместе с тем, Gl 569Ba на 1.9^m ярче, чем Gl 569Bb, что было установлено из спекл-измерений. Нами сделан вывод, что Gl 569Ba, в свою очередь, является двойной звездой. Тогда все три компонента Gl 569B имеют примерно одинаковый спектральный класс и схожие массы, причем их орбиты расположены иерархически.

Суммарная масса системы, оцененная по предварительной орбите (рис. 29), равна $\sim 0.12 M_{\odot}$, а масса каждого компонента в отдельности не

STELLAR PHYSICS

GL 569B – MULTIPLE SYSTEM OF BROWN DWARFS

The system Gliese 569 has long been known as a pair of red dwarfs away from the Sun by 9.8 pc. The low-mass secondary component of the pair Gl 569B has the spectrum of the late M class and the luminosity somewhat exceeding the typical luminosity of red field dwarfs. In 1999 Martin et al., using the telescope Keck II established that Gl 569B consists of a pair of stars separated by 1 a.u. A year later we started speckle-interferometric observations of this pair at the telescopes BTA and MMT (Arizona) with the aim to determine the parameters of the apparent motion and estimate the masses of the components. The observations were carried out in the infrared range of the spectrum. The reconstructed image of the pair is shown in Fig. 29.

The integral spectrum of the pair Gl 569B coincides with the spectrum of an M8.5+ type star, both components having the same temperature. At the same time, Gl 569Ba is by 1.9^m brighter than Gl 569Bb, which was established from speckle measurements. We draw a conclusion that Gl 569Ba is a binary star. Then the three components of Gl 569B have about the same spectral class and similar masses, their orbits being located hierarchically.

The total mass of the system, estimated from the preliminary orbit (Fig. 29) is $\sim 0.12 M_{\odot}$, while the mass of each component is not greater than 50 masses

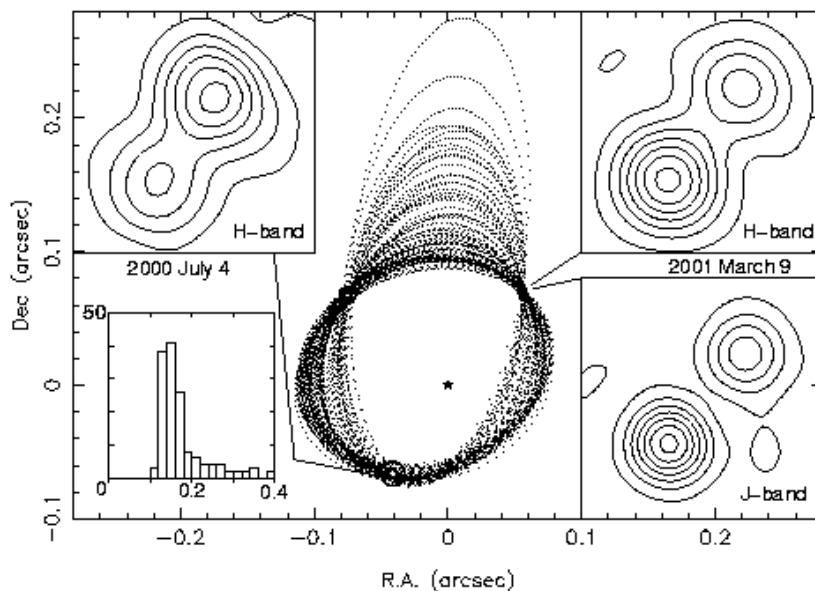


Рис. 29. Семейство орбит, наилучшим образом согласующихся с позиционными измерениями Gl 569B. На вставках показаны также профили восстановленных изображений с телескопов ММТ (слева) и БТА (справа).

Fig. 29. The family of orbits consistent best with position measurements of Gl 569B. The insets display the profiles of the reconstructed images from the telescopes MMT (left) and BTA (right).

превышает 50 масс Юпитера. В таком случае компоненты Gl 569B – коричневые карлики. Кинематика системы согласуется с движением группы UMa, из чего был сделан вывод, что ее возраст также близок к 300 млн. лет.

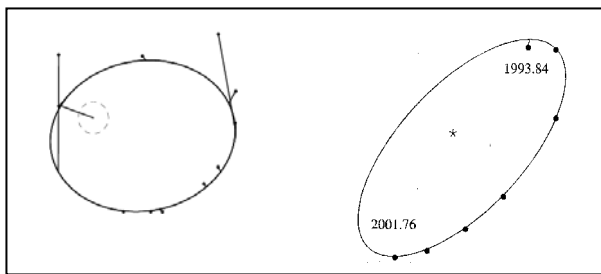
Несомненно, что Gl 569B вследствие близости к Солнцу и возможности дальнейшего уточнения динамических и спектральных свойств может оказаться ключевой системой коричневых карликов.

Ю.Ю. Балега совместно с М. Кенворти (Обсерватория Стюарт, США), Г. Вайгельт (MPIfR, Бонн, Германия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕЗД ПОЗДНИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ

В ходе выполнения наблюдательной программы на 6-м телескопе получено более 400 спекл-интерферометрических измерений позиционных параметров и 230 высокоточных измерений разности блеска 215 двойных и кратных звезд. Основная цель программы – уточнение эмпирической зависимости масса–светимость для звезд ГП поздних спектральных классов. Обнаружено 7 ранее неизвестных тройных систем (HIP 5245, Kii 99, ADS 16138, HIP 25354, HIP 8533, HIP 60444 и HIP 39402) и одна новая двойная система. По результатам этих наблюдений построено 15 новых и уточнено 7 известных орбит (рис. 30). Оценены абсолютные светимости и спектральные классы компонентов 68 двойных и 4 тройных систем.

Е.А. Плужник, И.И. Балега, З.У. Шхгагошева



АНАЛИЗ ОРБИТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ТРАПЕЦИИ ОРИОНА

По данным спекл-интерферометрических наблюдений на 6-м телескопе с 1995 по 2001 гг. нами было обнаружено орбитальное движение в системах Θ Ori A1–2 (среднее расстояние между компонентами 220", изменение позиционного угла 6°), Θ Ori B2-3 (расстояние между компонентами 205", изменение позиционного угла 8°) и Θ Ori C1–2 (расстояние между компонентами 37", изменение позиционного угла 18°) – являющихся ярчайшими звездами в Трапедии Ориона. Наблю-

of Jupiter. In this case the components of Gl 569B are brown dwarfs. The kinematics of the system agrees with the motion of the group UMa, from which it was concluded that its age is also close to 300 million years.

Undoubtedly Gl 569B may ought to be the key system of brown dwarfs owing to its closeness to the Sun and the possibility of further refinement of the dynamical and spectral properties.

Yu.Yu. Balega in collaboration with M. Kenworti (Steward Observatory, USA), G. Weigelt (MPIfR, Bonn, Germany).

DETERMINATION OF FUNDAMENTAL CHARACTERISTICS OF STARS OF LATE SPECTRAL CLASSES

In the course of fulfilment of the observational program at the 6 m telescope more than 400 speckle interferometric measurements of position parameters and 230 high accuracy measurements of the brightness difference of 215 binary and multiple stars were made. The principle aim of the program is refinement of the empirical mass–luminosity relationship for MS stars of late spectral classes. Seven previously unknown triple systems (HIP 5245, Kii 99, ADS 16138, HIP 25354, HIP 8533, HIP 60444 and HIP 39402) and one new binary system were detected. From the results of these observations 15 new orbits were constructed and 7 known orbits were revised (Fig. 30). Absolute luminosities and spectral classes of the components of 68 binary and 4 triple systems were estimated.

E.A. Pluzhnik, I.I. Balega, Z.U. Shkhagosheva

Рис.30 Орбиты двойных звезд CHR 17 и Gl 150.2.

Fig. 30 The orbits of the binary stars CHR 17 and Gl 150.2.

ANALYSIS OF ORBITAL MOTIONS IN THE TRAPEZIUM OF ORIONIS

Using the data of the speckle interferometric observations conducted at the 6 m telescope in the years from 1995 to 2001, we revealed orbital motion in the systems Θ Ori A1–2 (the average separation of the components is 220", the position angle variation is 6°), Θ Ori B2-3 (the separation of the components is 205", the position angle variation is 8°), and Θ Ori C1–2 (the distance between the components is 37", the position angle variation is 18°), which are the brightest stars in the Orionis trapezium. The ob-

дения проводились в спектральных полосах J, H и K ИК спектра и были обработаны с применением биспектрального анализа. В системе Θ Ori B был впервые разрешен четвертый визуальный компонент. Из анализа орбитальных движений и данных многоцветной фотометрии в ближнем ИК диапазоне (табл. 4) была получена оценка масс компонентов ярчайших двойных в Трапедии Ориона, что в дальнейшем поможет разобраться в механизме формирования массивных кратных систем.

Ю.Ю. Балега совместно с Т. Прайбиш, Г. Вайгельт (MPIfR, Бонн, Германия)

servations were made in the J, H and K bands of the IR spectrum and were processed with the use of the bispectral analysis of series of images. The fourth visual component was resolved in the system Θ Ori B for the first time. From analysis of orbital motions and data of multicolor photometry in the near-infrared range (Table 4) the masses of components of the brightest binaries in the Orionis trapezium were estimated, which will subsequently help understand the mechanism of formation of massive multiple systems.

Yu.Yu. Balega in collaboration with T. Preibish, G. Weigelt (MPIfR, Bonn, Germany).

Таблица 4. Блеск (в зв. величинах), оценка экстинкции и масс (в M_{\odot}) компонентов системы Θ Ori.

Table 4. The brightness (in stellar magnitudes), the estimate of extinction and masses (in M_{\odot}) of the components of the system Θ Ori.

Θ^1 Ori	J(m)	H-K(m)	J-H(m)	A_v (m)	M_* (M_{\odot})
A 1	6.14	0.08	0.18	1.89	16
A 2	8.45	0.35	0.76	5.40	? 4–5
B 1	6.82	0.12	0.31	0.69	7
B 2	10.23	1.15	1.43	? 9	? 4
B 3	10.84	0.66	1.26	10	? 3
C 1	4.63	0.02	0.18	1.74	45
C 2	6.22	0.25	0.03		? 6

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ ПРОТОЗВЕЗДНЫХ И МОЛОДЫХ ЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Биспектральная спекл-интерферометрия использовалась для изучения связанных с областями звездообразования ИК источников S140 IRS1 и Mon R2 IRS3.

S140 IRS1 представляет собой глубоко погруженный в пылевое облако объект в молекулярном облаке L1204 на удалении 900 пк от Солнца. Изображения поля 13"x21" в полосе K обнаружили сложные, ранее неизвестные структуры вокруг центрального объекта. В дополнение к яркой, вытянутой на юго-восток детали, были обнаружены четыре точечных источника, несколько дугообразных структур и протяженная диффузная эмиссия. Диффузные структуры, видимо, отражают взаимодействие мощного истечения от S140 IRS1 с окружающей средой. Кроме ранее известного истечения вещества на юго-восток мы нашли свидетельства истечения вещества в северо-восточном направлении, в котором обнаружен комплекс из трех дуг, одни края которых систематически сдвинуты относительно друг друга. Положение дуг соответствует примерному положению радиоисточника. Морфологию S140 IRS1 можно моделью тесной двойной звезды, каждый компонент которой окружен протозвездным диском, и ориентация дисков не совпадает с плоскостью орбиты.

INTERFEROMETRY OF PROTOSTELLAR AND YOUNG STELLAR OBJECTS

We applied bispectral speckle interferometry for studying the IR sources S140 IRS1 and Mon R2 IRS3 related to star formation regions.

S140 IRS1 is an object deeply immersed into a dust cloud in the molecular cloud L1204 at a distance of 900 pc from the Sun. The images of a field of 13"x21" in K band revealed complex, previously unknown structures around the central object. In addition to the bright detail extended south-east, four point sources, some arch structures and an extended diffusion emission were detected. Apparently, the diffusion structures reflect interaction of the powerful outflow from S140 IRS1 with the surroundings. Apart from the previously known outflow in the south-east direction, we found evidence of outflow of matter in the north-east direction. In this direction we detected a complex of three arches, one edge of which is systematically shifted with respect to each other. The position of the arches corresponds to the approximate position of the radio source. The morphology of S140 IRS1 can be explained with the aid of the model of a close binary star each component of which is surrounded by a protostellar disk, and the orientation of the disks does not coincide with the orbital plane. Each component produces one outflow, while the observed structure is

Каждый компонент формирует одно истечение вещества, а наблюдаемая структура формируется в результате прецессии некомпланарного диска.

Скопление Mon R2 IRS3 является областью формирования массивных звезд, одной из ближайших к нам, которая все еще погружена в родительское молекулярное облако. Мы разрешили объект на три звездных источника с избытками излучения в ближней ИК области. Оценки показывают, что их массы лежат в интервале 5–15 M_{\odot} . Кроме того, в 3"-области вокруг этих звезд обнаружены еще по крайней мере 3 источника на 6^m слабее самого яркого объекта (рис. 31).

Самый яркий источник IRS3 А окружен биполярной туманностью ($PA=30^{\circ}$) и, по-видимому, имеет тонкий околзвездный диск или тор с полярными полостями. В направлении на северо-восток обнаружена джетоподобная эмиссионная структура, которая намного ярче в полосе К, чем в H. Она распадается на три отдельных узла, удаленных на 0.13", 0.23" и 0.29" от источника. Предположительно, IRS3 В является источником высокоскоростного молекулярного истечения, известного для Mon R2 IRS3.

Ю.Ю. Балега совместно с Т. Блекер, Г. Вайгельт, К.-Х. Хофман (MPIfR, Бонн, Германия)

formed as a result of precession of the non-complanary disk.

The cluster Mon R2 IRS3 is one of the closest to us regions of formation of massive stars which is still embedded into the host molecular cloud. We resolved the object into three stellar sources with emission excess in the near IR region. Estimates suggest their masses to lie in an interval of 5–15 M_{\odot} . Besides, at least three more sources by 6^m fainter than the brightest object were detected in the 3" region around these stars (Fig. 31).

The brightest source IRS3 A is surrounded by a bipolar nebula (the position angle is 30°) and is likely to have a thin circumstellar disk or a tor with polar cavities. Towards on north-east a jet-like emission structure was detected. The structure is much brighter in the K band than in the H band. It desintegrated on three individual knots separated from the source by 0.13", 0.23" and 0.29". IRS3 B is presumably a source of high velocity molecular outflow known for Mon R2 IRS3.

Yu.Yu. Balega in collaboration with T. Blacker, G. Weigelt, K.-H. Hofman (MPIfR, Bonn, Germany)

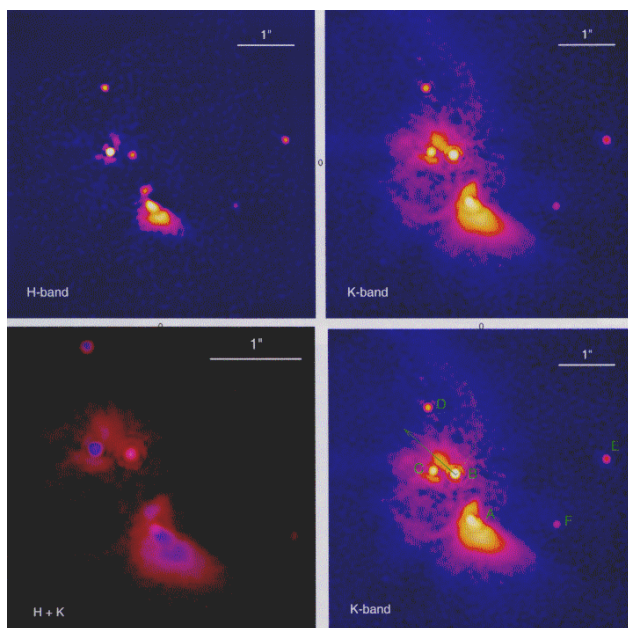


Рис. 31 Изображения Mon R2 IRS3 в спектральных полосах H и K.

Fig. 31. The images of Mon R2 IRS3 in the H and K spectral bands.

СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ИСТОЧНИКА IRC+10216

На основе спекл-интерферометрических наблюдений, проведенных с 1995 по 2001 гг. на 6-м телескопе, была впервые получена детальная модель и изучены временные изменения в пылевой оболочке вокруг углеродной звезды IRC+10216. Изображения IRC+10216 (рис. 32) получены для восьми

SPECKLE INTERFEROMETRIC MONITORING OF THE SOURCE IRC+10216

On the basis of the speckle interferometric observations carried out at the 6 m telescope from 1995 to 2001, an detailed model was derived for the first time and temporary variations in the dust envelope around the carbon star IRC+10216 were studied. The images of IRC+10216 (Fig. 32) were obtained for eight

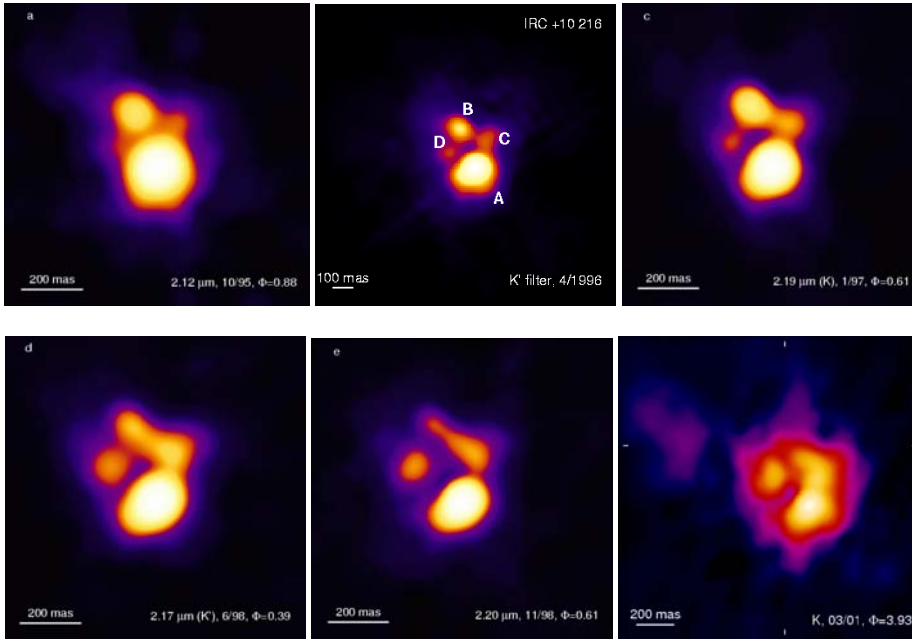


Рис. 32. Временные изменения в оболочке вокруг IRC+10216.

Fig. 32. Temporal variations in the envelope around IRC+10216.

различных эпох и показывают динамическую эволюцию пылевой оболочки, которая состоит из нескольких компактных образований в области $0.2''$, окруженных слабой асимметричной туманностью. Видимое разделение двух самых ярких компонентов А и В увеличилось с $0.191''$ в 1995 г. до $0.351''$ в 2001 г. В то же время яркость компонента В уменьшилась почти до полного исчезновения в 2000 г., а яркость деталей С и D возросла. Изменения структуры оболочки, скорее всего, связаны с изменением оптической толщины. Мониторинг в течение более чем трех периодов пульсации звезды (649 дней) подтверждает предсказания гидродинамических моделей об усилении формирования пыли в течение нескольких периодов пульсаций.

Морфология IRC+10216 весьма сложна. Последние модели двухмерного переноса излучения четко указывают, что центральная звезда окружена оптически толстым пылевым диском с биполярными пустотами, полный угол раскрытия которых составляет 36° . Самый яркий компактный пик А в изображении IRC+10216 оказывается излучением, рассеянным в оптически более толстой южной полости. Сама углеродная звезда находится на месте более слабого компонента В. На снимках, полученных телескопом Хаббла на 0.8 и 1.1 мкм, компонент В вообще не виден. Более слабые компоненты С и D в полосах Н и К возникают за счет небольших отклонений от сферической формы плотной оболочки. Источник IRC+10216 вошел в фазу, непосредственно предшествующую движению к асимптотической ветви гигантов и начал формировать асимметричную оболочку.

Ю.Ю. Балега совместно с Т. Блекер, Г. Вайгельт (MPIfR, Бонн, Германия)

different epochs. They show dynamical evolution of the dust envelope consisting of several compact structures in the $0.2''$ region, which are surrounded by a faint asymmetric nebula. The visible separation of two brightest components A and B increased from $0.191''$ in 1995 to $0.351''$ in 2001. At the same time, the brightness of the B component decreased nearly to complete disappearance, whereas that of the details C and D increased in 2000. The variations of the envelope structure are most likely to be due to the variations of the optical depth. The monitoring of IRC+10216 during over three periods of the star pulsation (649 days) confirms predictions of hydrodynamic models that the dust formation intensified during several pulsation periods.

The morphology of IRC+10216 is rather complex. The latest models of two-dimensional emission transfer point clearly to the fact that the central star is surrounded by a thick dust disk with bipolar cavities, the total angle of the opening of which is 36° . The brightest compact peak of A in the image of IRC+10216 turns out to be radiation scattered in the optically thicker southern cavity. The carbon star itself is located in place of the fainter component B. Component B is not visible in the images taken with the Hubble telescope at 0.8 and 1.1 microm. The fainter components C and D in the H and K bands originate due to minor departures of the dense envelope from the spherical shape. The source IRC+10216 fell into phase directly preceding the movement to the asymptotic giant branch and began to form the asymmetric envelope.

Yu.Yu. Balega in collaboration with T. Blacker, G. Weigelt (MPIfR, Bonn, Germany)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕР И ОБОЛОЧЕК ЗВЕЗД

STUDY OF THE ATMOSPHERE STRUCTURE AND ENVELOPE OF STARS

Пекулярный сверхгигант HD 331319

Peculiar supergiant HD 331319

На 6-м телескопе продолжается программа спектроскопии высокого разрешения пекулярных звезд высокой светимости с избытком ИК-потока. Методом моделей атмосфер определены фундаментальные параметры и детальный химический состав HD 331319 – оптического компонента ИК-источника IRAS 19475+3119. В спектре объекта высокой светимости $M_v < -8^m$ с $T_{eff} = 7200$ К обнаружены линии гелия (рис. 33). Это интерпретируется как его избыток в наблюдаемых слоях атмосферы и может рассматриваться как проявление синтеза гелия в ходе предшествующей эволюции звезды. Обнаружен избыток азота и кислорода: $[N/Fe] = +1.30$, $[O/Fe] = +0.64$ dex при небольшом избытке углерода. Металличность атмосферы звезды $[Fe/H] = -0.25$ слабо отличается от солнечной. Содержание металлов s-процесса не увеличено, а скорее занижено относительно металличности: для Y, Zr $[X/Fe] = -0.68$. Содержание бария также занижено относительно металличности: $[Ba/Fe] = -0.47$. Более тяжелые элементы La, Ce, Nd, Eu слегка усилены по отношению к железу: для них среднее значение $[X/Fe] = +0.16$. В целом распространенность химических элементов подтверждает, что объект IRAS 19475 + 3119 находится на эволюционной стадии после AGB. Металличность в сочетании с лучевой скоростью $V_r = -3.4$ км/с и галактической широтой $|b| = 2.7^\circ$ объекта указывают на его принадлежность к населению диска Галактики. По положению абсорбционных полос, формирующихся в околосредной оболочке, определена скорость расширения оболочки около 21 км/с.

The program of high-resolution spectroscopy of high-luminosity peculiar stars with IR excess is being continued at the 6 m telescope. Using CCD spectra obtained with the echelle spectrometer PFES the fundamental parameters and detailed chemical composition of HD 331319 – optical component of IR source IRAS 19475+3119 were determined by the model atmosphere method. The lines of helium were detected in the spectrum of the high-luminosity object with $M_v < -8^m$ and effective temperature of $T_{eff} = 7200$ K (Fig.33). It was interpreted as its considerable excess in observable atmospheric layers and could be considered as a manifestation of synthesis of helium during preceding evolution of the star. The excess of nitrogen and oxygen was detected: $[N/Fe] = +1.30$, $[O/Fe] = +0.64$ dex with a small excess of carbon. The star atmosphere metallicity $[Fe/H] = -0.25$ differs only slightly from the solar one. The abundance of s-process metals is not high, but rather low in regard to metallicity: for Y, Zr $[X/Fe] = -0.68$. The barium abundance is also low in regard to metallicity: $[Ba/Fe] = -0.47$. Heavier elements La, Ce, Nd, Eu are slightly overabundant relative to iron: their average value $[X/Fe] = +0.16$. In general, the chemical abundance confirms that the object IRAS 19475+3119 is at the evolutionary stage after AGB. In combination with the object's radial velocity $V_r = -3.4$ km/s and galactic latitude $|b| = 2.7^\circ$, the metallicity points to its membership of the Galaxy's disk population. The velocity of the envelope expansion was determined by the position of absorption lines formed in the circumstellar envelope to be about 21 km/s.

Из сопоставления результатов, полученных для звезды сравнения, типичного post-AGB объекта HD 161796 = IRAS 17436 + 5003, с ранее опубликованными данными, обнаружено эволюционное увеличение ее эфф. температуры со средней скоростью не менее 50° в год.

The juxtaposition of the results obtained for a comparison typical for the post-AGB object HD 161796 = IRAS 17436 + 5003 with the data published earlier revealed an evolutionary effective temperature of HD 161796 at an average rate of 50 degrees per year.

В.Г. Ключкова, В.Е. Панчук, Н.С. Таволжанская

V.G. Klochkova, V.E. Panchuk, N.S. Tavganskaya

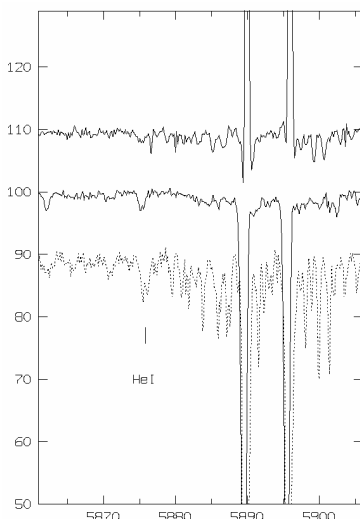


Рис. 33. Линия гелия $\lambda 5876$ А в спектрах трех F-сверхгигантов, сверху вниз: HD 44179 (Красный Прямоугольник), HD 331319 = IRAS 19475+3119 и HD 187885.

Fig. 33. Line of helium HeI, $\lambda 5876$ A in spectra of three F supergiants, from the top down: HD 44179 (Red Rectangle), HD 331319 = IRAS 19475+3119 and HD 187885.

Протопланетарная туманность LS II+34° 26 = V1853 Cyg

Выполнены фотометрические и спектральные наблюдения В-сверхгиганта с ИК-избытком V1853 Cyg, эволюционирующего к стадии планетарной туманности. В течение 2–х лет наблюдений звезда показала быстрые нерегулярные изменения блеска с амплитудой около 0.3^m в цвете V и отсутствие корреляции цвета с блеском. Оптический спектр V1853 Cyg состоит из абсорбций (O II, N II, C II, Si III, Al III, Fe II и очень слабой линии He II 4686A), характерных для ранних горячих сверхгигантов B1–B2, и эмиссионного спектра газовой оболочки (N [II], S [II], Si II). Линии H I и He I имеют профили типа P Cyg, что свидетельствует о продолжающемся истечении вещества. В спектре надежно отождествлены многочисленные диффузные полосы (DIBs) межзвездного и околозвездного происхождения.

В.Г. Ключкова совместно с В.П. Архиповой, Н.П. Иконниковой, Г.В. Комиссаровой, Р.И. Носковой и В.Ф. Есиповым (ГАИШ МГУ)

Спектральный мониторинг быстро эволюционирующего гипергиганта IRC +10420

Долговременный интерес к пекулярному сверхгиганту IRC +10420 обусловлен прежде всего его предельно высокой абсолютной светимостью, свойственной гипергигантам. Этот объект занимает выделенное положение на ИК-диаграмме “цвет–цвет” и является источником мощного переменного мазерного излучения OH, что указывает на присутствие протяженной газо–пылевой оболочки. Оптический спектр содержит многочисленные абсорбции, формирующиеся в слоях фотосферы, неподвижных относительно центра массы звезды, и эмиссии, формирующиеся в расширяющейся оболочке. Измеренная по смещению абсорбционных компонентов профилей типа P Cyg относительно эмиссий скорость расширения оболочки составляет около 40–50 км/с, что хорошо согласуется с опубликованными данными, полученными в радиодиапазоне по профилям линий молекулы CO. Наблюдаемая сложная динамическая картина в атмосфере IRC +10420 обусловлена недавним или продолжающимся процессом сброса вещества. Следовательно, она присуща и тем PPN с эмиссионными компонентами профиля H α , которые имеют большие ИК-избытки (особенно в ближнем ИК-диапазоне).

Новый цикл наблюдений IRC +10420 проведен на 6–м телескопе в 1997–2000 гг. с эшелле-спектрометром PFES. Выполнены измерения лучевых скоростей и эквивалентных ширин различных линий в спектрах. Сделан вывод о том, что спектр IRC +10420 в 2000 г. соответствовал спектральному классу A2. При сравнении спектра 2000 г. с более ранними спектрами обнаружено увеличение температуры фотосферы звезды со

Protoplanetary nebula LS II +34° 26 = V1853 Cyg

Photometric and spectral observations of the B supergiant with IR excess V1853 Cyg evolving to the stage of protoplanetary nebula were performed. During 2 years of observations, the star showed fast irregular alterations of luminosity with an amplitude of about 0.3^m in the V band and the absence of correlation between color and brightness. The optical spectrum of V1853 Cyg consists of absorptions (O II, N II, C II, Si III, Al III, Fe II and a very weak line He II 4686A), typical of early hot supergiants B1–B2 and a gas envelope emission spectrum (N [II], S [II], Si II). The profiles of H I and He I lines are P Cyg-like which attests the continuous flow of matter. Multiple diffuse bands (DIBs) of interstellar and circumstellar origin are reliably identified in the spectrum.

V.G. Klochkova in collaboration with V.P. Arkhipova, N.P. Ikonnikova, R.I. Noskova, G.V. Komissarova and V.F. Esipov (SAI MSU)

Spectral monitoring of the rapidly evolving hypergiant IRC+10420

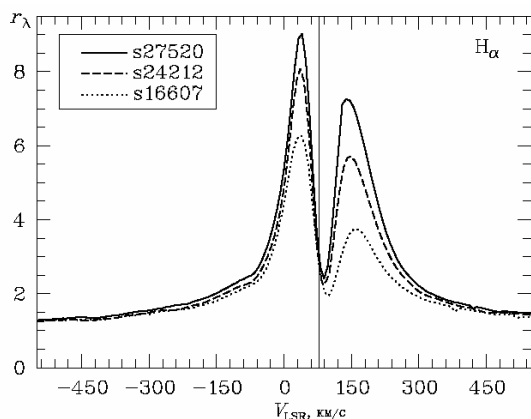
Long-term interest in the peculiar supergiant IRC+10420 is dictated first of all by its extremely high absolute luminosity typical of hypergiants. Besides, this object takes a special position on the “color–color” IR diagram and is a source of powerful variable maser OH emission, which points to the presence of an extended gas–dust envelope. The optical spectrum of IRC+10420 contains multiple absorptions generated in these atmospheric layers that are immobile in respect of the star mass center, and emissions generated in the expanding envelope. The envelope expansion rate measured by the shift of the absorption components of P Cyg-like profiles with respect to emissions is about 40–50 km/s which agrees well with published data obtained in the radio range from the profiles of CO-molecule lines. Evidently, the observed complicated dynamical situation in the atmosphere of IRC+10420 is determined by the recent or continuing process of the matter release and, consequently, is also typical of the PPN with emission components of the H α profile which have large IR excesses (especially in the near IR range).

New set of observations of IRC+10420 was carried out at the 6 m telescope with the echelle spectrometer PFES in the period from 1997 to 2000. The measurements of radial velocities of different spectral details and equivalent widths of selected spectral lines were fulfilled. By totality of spectral criteria a conclusion was drawn that the spectrum of IRC+10420 in 2000 corresponded to spectral class A2. When comparing the spectrum of 2000 with the earlier

средней скоростью около 120 К в год. Выявлена корреляция между скоростями, соответствующими положениям минимумов (максимумов) линий, и их силами осцилляторов как в случае эмиссионных, так и абсорбционных линий. Этот эффект, по-видимому, является следствием взаимного влияния эмиссионных и абсорбционных компонент линий.

Сделан вывод о том, что красное смещение абсорбционных фотосферных линий относительно системной скорости IRC +10420 обусловлено рассеянием света звезды на расширяющейся мощной пылевой оболочке. Обнаружена переменность эмиссионных профилей линий H α и H β (рис. 34). По ИК-триплету OI 7774 А оценена светимость IRC +10420: $L = 50000 L_{\odot}$. На всех имеющихся спектрах IRC +10420, соответствующих спектральным классам как A2, так и A5, присутствует линия HeI λ 5876 А с практически постоянной интенсивностью $W = 200\text{mÅ}$, что является следствием высокой светимости и, возможно, повышенного содержания гелия в атмосфере звезды.

В.Г. Клочкова, М.В. Юшкин, Е.Л. Ченцов и В.Е. Панчук



spectra an increase in star photosphere temperature at an average rate of about 120 K per year was detected. Correlation between the velocities corresponding to the line minima (maxima) and their oscillator strengths both for emissions and absorptions is revealed. This effect appears to be a consequence of mutual influence of emission and absorption line components.

It was concluded that the redshift of photosphere absorption lines in regard to the systemic velocity of IRC+10420 is caused by the scattering of star light on the expanding powerful dust envelope. Variability of the emission profiles of the lines H α and H β (Fig. 34) was detected. By the infrared triplet of oxygen OI 7774 А the luminosity of IRC+10420 is estimated to be $L = 50000 L_{\odot}$. All available spectra of IRC+10420 corresponding to both spectral classes A2 and A5 contain the line HeI λ 5876А with practically constant intensity of $W = 200 \text{ mÅ}$, which is a consequence of the high luminosity and, probably, enhanced helium abundance in the star atmosphere.

V.G. Klochkova, M.V. Yushkin, E.L. Chentsov and V.E. Panchuk

Рис. 34. Переменность профиля H α в спектре IRC+10420 с мая 1997 (спектр s16607) по апрель 2000 г. (спектр s27520).

Fig. 34. Variability of the profile of H α in the spectrum of IRC+10420 from May 1997 (spectrum s16607) till April 2000 (spectrum s27520).

Необычная цефеида FN Aql

На 6-м телескопе получены эшелле спектры высокого разрешения цефеиды FN Aql вблизи фотометрического минимума и максимума ее блеска. Интерес к этой звезде обусловлен наличием у нее большого ИК-избытка, что позволяет рассматривать FN Aql в качестве кандидата в протопланетарные туманности. Методом теоретического моделирования спектров определены $T_{\text{eff}} \sim 5500\text{K}$ и $L/L_{\odot} = 3.52$, а также особенности химического состава звезды.

Пекулярная картина содержания химических элементов (низкое содержание углерода при практически солнечном обилии азота) в сочетании с наличием околозвездной оболочки позволяет предположить, что FN Aql наблюдается в ходе третьего (а возможно и четвертого) пересечения полосы неустойчивости.

Unusual Cepheid FN Aql

High-resolution echelle spectra of the Cepheid FN Aql near the photometric brightness minimum and maximum were obtained with the 6 m telescope. The presence of large IR excess governs interest in this star and allows us to consider FN Aql as a candidate for protoplanetary nebulae. The method of theoretical modeling of spectra gave $T_{\text{eff}} \sim 5500\text{K}$ and $L/L_{\odot} = 3.52$ for the star, and also the peculiarities of its chemical abundance.

The peculiarity of chemical elements abundances (low carbon abundance at practically solar nitrogen abundance) in conjunction with the presence of circumstellar envelope allows us to suppose that FN Aql is being observed during the third (and may be the fourth) crossing of the instability band.

В.Г. Клочкова совместно с И.А.Усенко и В.В. Ковтюхом (АО Одесского ГУ, Украина)

Спектральный атлас LBV и родственных объектов.

В ходе исследования на 6-м телескопе звезд с плотным медленным ветром и псевдофотосферами был подготовлен атлас спектров гипергигантов и сверхгигантов B6–A2 в диапазоне 4800–6700 Å. В атласе представлены спектры HD168625 (B5), HD183143 (B7), HD168607 (B9), AS314 (A0) и HD160529 (A2). Для каждой звезды с помощью эшелле-спектрометров PFES и РЫСЬ получено несколько спектров, что позволило выполнить надежное отождествление и измерение глубин линий, а также определение лучевых скоростей по спектральным линиям, формирующимся на различных уровнях в протяженных атмосферах звезд и в межзвездной среде. Проведено детальное отождествление спектров (380 деталей), описаны спектроскопические особенности каждого объекта. На рис. 35 для примера приведен фрагмент атласа.

Е.Л. Ченцов, С.В. Ермаков, В.Г. Клочкова, В.Е. Панчук совместно с К. Бьеркман, А.С. Мирошниченко (Обсерватория Риттер, Толедо, США)

V.G. Klochkova in collaboration with I.A. Usenko and V.V. Kovtyukh (AO of Odessa State University, Ukraine)

Spectral atlas of LBV and related objects

In the course of the 6 m telescope study of stars with dense slow wind and pseudo-photospheres an atlas of the spectra of hypergiants and supergiants B6–A2 in the range from 4800 to 6700 Å was produced. The atlas presents the spectra of HD168625 (B5), HD183143 (B7), HD168607 (B9), AS314 (A0) and HD160529 (A2). Several spectra were obtained for each of these stars with the help of the echelle spectrometers PFES and Lynx. It allowed us to make a reliable identification, measurements of line depths and radial velocities by spectral lines formed at different levels in extended stellar atmospheres and in interstellar medium. The detailed identification of spectra (380 details) is presented. Spectroscopic features of each object are described. An atlas fragment in the wavelength range of 4990 – 5110 Å is presented in Fig. 35 as an example.

E.L. Chentsov, S.V. Ermakov, V.G. Klochkova, V.E. Panchuk in collaboration with K. Bjorkman and A.S. Miroshnichenko (Ritter Observatory, Toledo, USA)

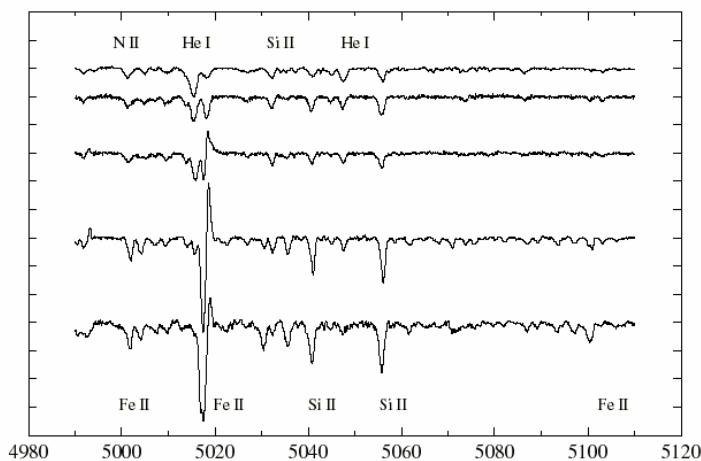


Рис. 35. Фрагмент атласа звезд высокой светимости в области длин волн 4990–5110 Å.

Fig.35. A fragment of the atlas of high-luminosity stars in the wavelength range of 4990–5110 Å.

Спектральный мониторинг быстро эволюционирующей звезды FG Sge

Более 20 лет на БТА выполняется спектральный мониторинг замечательной переменной звезды FG Sge, которая с 1992 г. находится в состоянии чередующихся глубоких минимумов блеска. В июне и июле 1998г. на БТА с эшелле-спектрометром PFES (спектральное разрешение $R = 12000$) были получены спектры звезды, видимый блеск которой в момент наблюдений был не ярче $V = 15^m$. В 2000 г., после завершения фотометрического минимума звезды, были получены очередные спектры FG Sge, на основании которых показано, что содержание химических

Spectral monitoring of the rapidly evolving star FG Sge

Spectral monitoring of a remarkable variable star FG Sge, which is in the state of interchanging deep minimums of brightness since 1992 has been performed at BTA for more than 20 years. In June and July of 1998 the spectra of the star were obtained at BTA with the echelle spectrometer PFES (spectral resolution $R = 12000$). The visible brightness of the star was less than $V = 15^m$ at that moment. In 2000, after the end of photometric the minimum, the next spectra of FG Sge were obtained. Relying on them, it was shown that the chemical element abundances in its atmosphere are close to the values before the fall

элементов в ее атмосфере близко к значениям до ослабления блеска. Можно утверждать, что процесс увеличения содержания углерода и элементов s–процесса в поверхностных слоях звезды завершился.

Таким образом, FG Sge перестал быть уникальным объектом, перемещение которого на диаграмме спектр–светимость в течение нескольких десятков лет оставалось загадкой, так как его можно отнести к молодым представителям класса переменных звезд типа R CrB. Не исключено, что другие звезды этого типа в свое время прошли по диаграмме спектр–светимость подобный путь.

В.Г. Ключкова совместно с Т. Киппером (Тарту, Эстония)

Проблема эволюционного статуса IP Per. Фотометрические и спектральные (низкого и высокого спектрального разрешения) наблюдения переменной звезды IP Per с эмиссионными особенностями в спектре и большим ИК–избытком были выполнены на 1–м телескопе Тянь–Шаньской обсерватории в Казахстане, 1.55–м Carlos Sanchez телескопе в Испании, Тенерифе и 6–м телескопе. Актуальность исследования этой звезды обусловлена тем, что в предшествующих публикациях ее эволюционный статус определялся неоднозначно.

Путем сравнения со спектрами стандартов и теоретическим моделированием спектра звезды определены ее спектральный тип A7V и фундаментальные параметры $T_{eff} \sim 8000\text{K}$, $\log g = 4.4$. Иррегулярное поведение фотометрических характеристик IP Per позволяет отнести ее к группе звезд типа UX Ori. Большой избыток ИК–потока объяснен наличием оптически тонкой сферической оболочки в сочетании с оптически толстым околос звездным диском. Моделирование абсорбционного спектра указывает на пониженную металличность звезды: $[\text{Fe}/\text{H}]_{\odot} \approx -0.40$. Вероятная принадлежность IP Per к ассоциации Per OB2 позволила оценить расстояние до звезды $D \approx 300\text{пк}$, что приводит к величине светимости $\log L/L_{\odot} \approx 1.0$.

Совокупность полученных нами данных позволяет отвергнуть статус IP Per как проэволюционировавшей звезды и однозначно отнести ее к звездам типа Ae/Be Хербига на стадии эволюции до ГП.

Е.Л. Ченцов, В.Г. Ключкова совместно с К. Бьеркман, А.С. Мирошниченко (Обсерватория Риттер, Толедо, США), П. Гарсио–Ларио, (Центр данных ISO, Испания), Х.В. Переа Колдероном (Мадрид, Испания)

of brightness. It can be stated that the process of increase of carbon abundance and s–process elements in the star surface layers has come to an end.

Thus, the unique object FG Sge whose position on the “spectrum–luminosity” diagram was an enigma during several dozens of years can be classified as a young representative of variable stars of R CrB type. It is not improbable that other stars of this type made an analogous path along the “spectrum–luminosity” diagram in due course.

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

The problem of evolutionary status of IP Per Photometric and spectral (of low and high spectral resolution) observations of the variable star IP Per with emission peculiarities in the spectrum and big IR excess were carried out with the 1 m telescope of the Tien-Shan Observatory in Kazakhstan, the 1.55 m Carlos Sanchez telescope in Tenerife, Spain and the 6 m telescope. The urgency of this study is caused by the fact that in previous publications the evolutionary status of this star was determined ambiguously.

By comparison with the spectra of standards and theoretic modeling of the star spectrum, its spectral type A7V and fundamental parameters $T_{eff} \sim 8000\text{K}$, $\log g = 4.4$ were determined. The irregular behavior of the photometric characteristics of IP Per allows us to assign it to the group of UX Ori type stars. The big excess of IR flux is explained by the presence of an optically thin spherical envelope coupled with an optically thick circumstellar disk. The modeling of absorption spectrum points to low metallicity of the star: $[\text{Fe}/\text{H}]_{\odot} \approx -0.40$. The probable affiliation of IP Per to the association Per OB2 allowed us to estimate the distance to the star as $D \approx 300\text{ pc}$, which leads to the luminosity value $\log L/L_{\odot} \approx 1.0$.

The assembly of data that we obtained allows us to reject the status of IP Per as an evolved star, but to classify it unambiguously as a Ae/Be Herbig type star at the evolutionary stage before the main sequence.

E.L. Chentsov, V.G. Klochkova in collaboration with K. Bjorkman, A.S. Miroshnichenko (Ritter Observatory, Toledo, USA), P. Garsia–Lario, (ISO Data Centre, Madrid, Spain), J.V. Perea Calderon, (Madrid, Spain).

Обнаружение спектральной переменности оптического компонента ИК-источника IRAS 01005 + 7910.

В 2000–2002 гг. на эшелле-спектрографах 6-м телескопа проведен спектральный мониторинг оптического компонента источника IRAS 01005 + 7910. Впервые получены спектры этого объекта с высоким спектральным разрешением. Обнаружены абсорбционные линии CIII, OII, NII, AlIII, SiIII и линия MgII 4481A, эмиссионные детали, отождествляемые с линиями SiII и запрещенными линиями [FeII]. В профилях линий водорода серии Бальмера и дублета NaI, линий HeI и FeIII присутствуют эмиссионные и абсорбционные компоненты. Обнаружена переменность профилей линий H α , HeI и NaI на временных интервалах от нескольких суток до года. Рис. 36 иллюстрирует переменность во времени peculiarных профилей линий водорода и гелия. Обнаружена корреляция лучевых скоростей абсорбционных линий с силами осцилляторов, причем наклон зависимости меняется от спектра к спектру. Химический состав и параметры атмосферы центральной звезды согласуются с принадлежностью объекта к группе углеродных PPN (масса $0.57 M_{\odot}$ и светимость $4 \times 10^3 L_{\odot}$) и исключают статус нормального сверхгиганта.

V.G. Klochkova, M.V. Yushkin, V.E. Panchuk, совместно с С.А. Мирошниченко, К.С. Бьеркман (Обсерватория Риттер, США)

Комплексный анализ протопланетарной туманности AFGL 2688.

Впервые получен спектр с высоким разрешением $R = 82000$ биполярной туманности AFGL 2688. Наблюдения выполнены с эшелле-спектрографом НЭС 6-м телескопа в широком диапазоне длин волн 4600–6100 Å.

Основные выводы из рассмотрения поля скоростей в туманности: а) фотосферный абсорбционный спектр показывает сильное красное смещение относительно системной скорости; б) в абсорбционной и эмиссионной компонентах резонансного дублета натрия наблюдается градиент скорости, что указывает на их формирование в расширяющейся оболочке; в) обнаруженные статистически значимые различия скоростей по отдельным компонентам эмиссионных полос Свана молекул C_2 могут быть объяснены только с градиентом лучевой скорости в областях формирования полос.

Впервые получен спектр линейной поляризации с разрешением $R = 15000$ туманности AFGL 2688, что позволило разделить спектры, формирующиеся в атмосфере центральной звезды и оптических лепестках туманности. Обнаружено значимое падение степени поляризации в полосах системы Свана молекулы C_2 , оболочечных ком-

Detection of spectral variability of the optical component of the IR source IRAS 01005+7910

Spectral monitoring of the optical component of the source IRAS 01005+7910 was performed with the echelle spectrographs of the 6 m telescope in 2000–2002. High-resolution spectra of this object were obtained for the first time. The absorption lines CIII, OII, NII, AlIII, SiIII and the line MgII 4481A, emission details identified with the SiII lines and forbidden lines [FeII] were detected. Emission and absorption components were found to be present in the profiles of hydrogen lines of the Balmer series and the doublet NaI, HeI and FeIII lines. Variability of H α , HeI and NaI line profiles was found in time intervals from a few days to a year. Fig. 36 shows the time variability of the peculiar hydrogen and helium line profiles. Correlation was revealed between the radial velocities of absorption lines and the oscillator strengths, the slope of the relationship being varied from spectrum to spectrum. The chemical composition and the atmosphere parameters of the central star suggest that the object is a member of the group of carbon PPN stars (mass $0.57 M_{\odot}$ and luminosity $4 \times 10^3 L_{\odot}$) and exclude the status of a normal supergiant.

V.G. Klochkova, M.V. Yushkin, V.E. Panchuk in cooperation with S.A. Miroshnichenko, K.S. Bjorkman (Ritter Observatory, USA)

Comprehensive analysis of the protoplanetary nebula AFGL 2688

The spectrum with a high resolution, $R = 82000$, of the bipolar nebula AFGL 2688 was obtained for the first time. The observations were made with the NES echelle spectrograph of the 6 m telescope in a wide range of wavelengths, 4600–6100 Å.

The main conclusions as to the velocity field in the nebula are as follows: a) the photospheric absorption spectrum shows a strong redshift relative to the systemic velocity; b) a velocity gradient is observed in the absorption and emission components of the resonance sodium doublet, which indicates that they form in an expanding envelope; c) the detected statistically significant velocity differences in individual components of the Swan emission bands of the C_2 molecule can be explained only in conjunction with the radial velocity gradient in the regions of formation of the bands.

The linear polarization spectrum with the resolution $R = 15000$ was first obtained for the nebula AFGL 2688, which made it possible to separate the spectra formed in the central star atmosphere and in the optical lobes of the nebula. A significant drop in the degree of polarization was found in the bands of Swan system of the C_2 molecule, the envelope com-

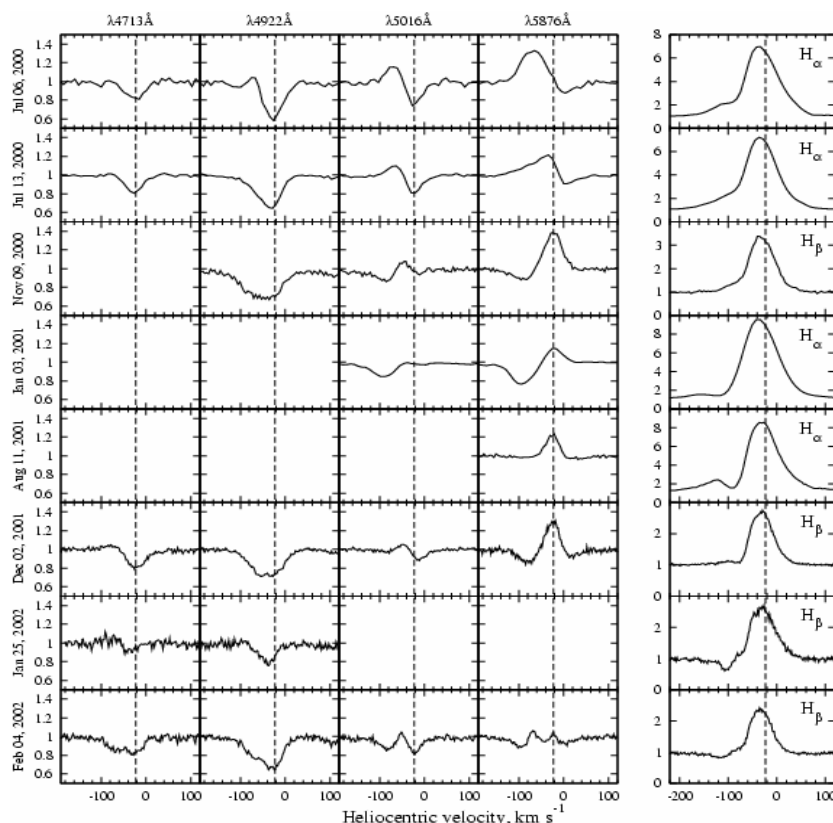


Рис. 36. Переменность линий H и HeI в спектре оптического компонента ИК-источника IRAS 01005 + 7910

Fig. 36. Variability of the H and HeI lines in the spectrum of the optical component of the IR source IRAS 01005+7910.

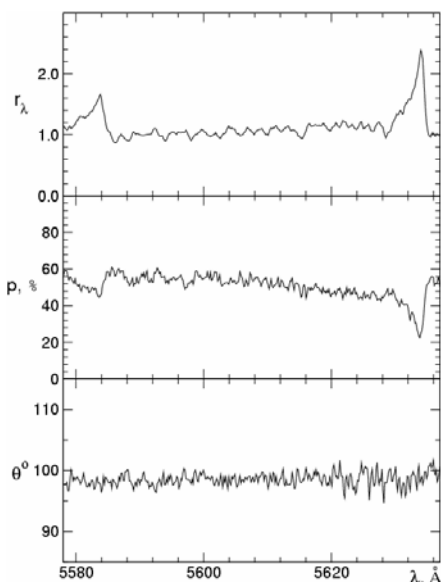


Рис. 37. Обращение эмиссии в полосах Свана 5585 и 5635 Å в спектре AFGL 2688 r_λ в абсорбцию при переходе к спектру поляризации p_λ . Угол поляризации θ не зависит от длины волны

Fig. 37. Conversion of the emission in Swan bands 5585 and 5635 Å in the spectrum of AFGL2688 r_λ into absorption when changing to the polarization spectrum p_λ . The polarization angle θ is independent of the wavelength.

понентах резонансного дублета натрия, абсорбционном ядре линии H α (рис. 37). Впервые измерены относительные вклады поляризованной и неполяризованной компонент спектра. На основе этих данных и привлечения результатов наблюдений с высоким угловым разрешением, данных ИК и радиоспектроскопии предложена

ponents of the sodium resonance doublet, the absorption core of the H α line (Fig. 37). The relative contributions of the polarized and non-polarized components of the spectrum were first measured. On the basis of these data, with involvement of the results of high angular resolution observations, the data of IR and radio spectroscopy, a new kinematic model

новая кинематическая модель оболочки. Основной особенностью модели является значительное понижение количества пыли, которая, по нашему мнению, сосредоточена в узких джетах и квази-концентрических дугах, подсвечиваемых центральной звездой.

Оценена масса $M = 1.2 M_{\odot}$ и светимость $L = 10^{4.6} L_{\odot}$ центральной звезды источника AFGL 2688. Значение массы согласуется с современными представлениями о том, что биполярные туманности являются результатом эволюции наиболее массивных представителей из совокупности звезд промежуточных масс. Сопоставление результатов радиоспектроскопических наблюдений медленного и быстрого ветра и оптической спектроскопии, включающей наши определения химического состава центральной звезды, позволяет утверждать, что мы впервые обнаружили процесс резкого изменения содержания легких элементов в околозвездной оболочке и атмосфере: звезда, будучи углеродной на стадии асимптотической ветви гигантов (AGB), превратилась на стадии post-AGB в F-сверхгигант с повышенным содержанием азота и кислорода, при $C/O = 1$.

В.Г. Клочкова, В.Е. Панчук, М.В. Юшкин.

СИНТЕЗ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГАЛО

Первое определение металличности M12 по спектрам высокого разрешения.

Впервые по спектрам, полученным с эшелле-спектрометром 6-м телескопа, методом моделей атмосфер определены фундаментальные параметры ($T_{eff} = 4800\text{K}$, $\log g = 0.7$) и детальный химический состав проэволюционировавшей звезды K413 из шарового скопления M12. Полученное $[Fe/H] = -1.38$ является первым определением металличности скопления M12 на основе спектров высокого разрешения, что хорошо согласуется с опубликованной средней металличностью скопления, полученной из фотометрии и спектров низкого разрешения. Основной особенностью химического состава атмосферы звезды является большой избыток кислорода $[O/Fe] \approx +2$ dex. Заподозрен также избыток углерода. Содержание металлов s-процесса понижено относительно металличности: для Y, Zr $[X/Fe] = -0.04$, для бария $[Ba/Fe] = -0.12$. Содержание более тяжелых элементов La, Ce, Nd, Pr не отличается от солнечного по отношению к железу: $[heavy/Fe] = +0.0$. Избыток европия $[Eu/Fe] = +0.48$ типичен для звезд в составе малометаллических шаровых скоплений.

Высокая светимость и особенности химического состава позволяют предположить, что K413 находится на эволюционной стадии после AGB. В спектре K413 имеется линия $H\alpha$ с абсорбционно-эмиссионным профилем, изменяющимся со временем (рис. 38). В спектре выделены отождеств-

of the envelope was proposed. The main distinguishing feature of this model is a considerable reduction of the amount of dust, which is, in our opinion, concentrated in the narrow jets and quasicentric arches illuminated by the central star.

The mass, $M = 1.2 M_{\odot}$, and the luminosity, $L = 10^{4.6} L_{\odot}$, of the central star of the source AFGL 2688 were estimated. The mass value is consistent with the present-day notions that bipolar nebulae are the result of evolution of the most massive representatives from the aggregation of stars of intermediate masses. A comparison of the results of radio spectroscopic observations of the slow and fast winds and optical spectroscopy, including our chemical abundance measurements of the central star, permits us to assert that we were the first to detect the process of sharp change in the abundance of light elements in the circumstellar envelope and atmosphere: the star, being a carbon one at the stage of the asymptotic giant branch (AGB), converted at the post-AGB stage to an F supergiant with an increased abundance of nitrogen and oxygen, at $C/O = 1$.

V.G. Klochkova, V.E. Panchuk, M.V. Yushkin

SYNTHESIS OF CHEMICAL ELEMENTS IN HALO

The first determination of metallicity of the globular cluster M 12 from high-resolution spectra.

For the first time, by the model atmosphere method, the fundamental parameters ($T_{eff} = 4800\text{K}$, $\log g = 0.7$) and detailed chemical composition the evolved star K413 being a member of the globular cluster M12 were determined from the CCD spectra obtained with the echelle spectrometer of the 6-m telescope. The obtained value of $[Fe/H] = -1.38$ is the first determination of metallicity of the cluster M12 on the basis of high-resolution spectra. It agrees well with the published average metallicity of the cluster M12 obtained from photometry and low-resolution spectra. The main feature of the chemical composition of the star atmosphere is the large oxygen excess $[O/Fe] \approx +2$ dex. Carbon excess is also suspectable. The abundance of s-process metals is low in regard to the metallicity: for Y, Zr $[X/Fe] = -0.04$, for barium $[Ba/Fe] = -0.12$. The abundance of heavier elements La, Ce, Nd, Pr does not differ from solar in respect to iron: $[heavy/Fe] = +0.0$. Europium excess $[Eu/Fe] = +0.48$ is typical of stars in low-metallicity globular clusters.

The high luminosity and the features of the chemical composition allows us to suppose that K413 is now at the post-AGB evolutionary stage. There is the line $H\alpha$ with absorption-emission time-variable profile in the spectrum of K413 (Fig. 38). Absorption details identified with DIBs and shifted 16 km/s to

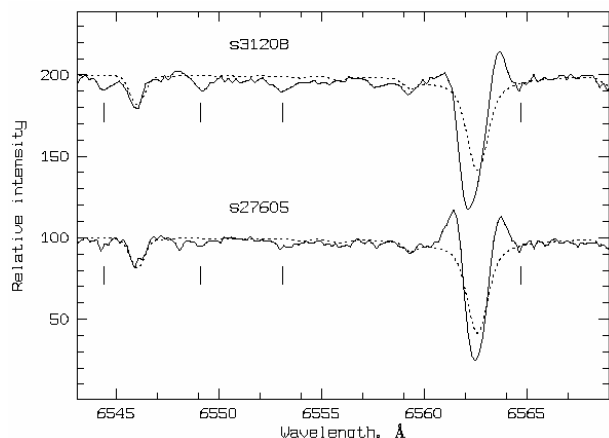


Рис. 38 Переменность профиля $H\alpha$ в спектре проэволюционировавшей звезды K413 из шарового скопления M12 для 2-х моментов наблюдений. Пунктиром нанесен синтетический спектр, вертикальными черточками отмечены теллурические детали.

Fig. 38. Variability of the $H\alpha$ profile in the spectrum of the evolved star K413 being a member of the globular cluster M12 for two moments of observation. The dotted line denotes the synthetic spectrum. The vertical bars are for telluric lines.

ленные с DIBs абсорбционные детали, сдвинутые на 16 км/с в длинноволновую область относительно скорости звезды.

В.Г. Клочкова совместно с Н.Н. Самусем (ГАИШ МГУ)

Пекулярная звезда в гало Галактики

Для изучения особенностей образования химических элементов на ранних стадиях формирования звездного населения Галактики на 6-м телескопе выполняются наблюдения звезд с большими собственными движениями. По спектрам высокого разрешения, полученным с помощью эшелл-спектрометра РЫСЬ, методом моделей атмосфер исследован химический состав малометаллических звезд ($-2.3 < [Fe/H] < -0.7$). Для одной из звезд (G251–54) с металличностью $[Fe/H]_{\odot} = -1.55$ обнаружен значительный дефицит ряда элементов как по отношению к их содержанию в звездах близкой металличности, так и по отношению к солнечному химическому составу. Для иллюстрации этого факта на рис. 39 приведена зависимость величины $[Ca/Fe]$ от металличности. Дефицит кислорода, элементов α -процесса и элементов с нечетным числом протонов (Na, Sc) по отношению к их содержанию в других звездах близкой металличности составляет, в среднем, около -0.6 dex. Дефицит элементов s-процесса в атмосфере звезды достигает -1.5 dex, а содержание элементов группы железа (Cr, Ni, Zn) и лития находится в полном соответствии с содержанием этих элементов в атмосферах звезд сходной металличности. Все это указывает на крайне необычный процесс обогащения тяжелыми элементами межзвездного вещества, из которого затем образовалась эта звезда. В частности, это вещество не было обогащено продуктами нуклеосинтеза SNeII, которые являются конечной стадией эволюции массивных звезд.

С.В. Ермаков, В.Г. Клочкова, В.Е. Панчук совместно с Г. Жао (Пекинская Обсерватория, Китай)

the long-wavelength range relative to the star velocity were selected in the spectrum.

V.G. Klochkova in collaboration with N.N. Samus' (SAI MSU)

A peculiar star in the halo of the Galaxy

To study the peculiarities of origin of chemical elements at early stages the stellar population of the Galaxy forming the spectral observations of stars with large proper motion is being carried out at the 6 m telescope. From the high-resolution spectra obtained with the help of the echelle spectrometer Lynx the chemical composition of low-metallicity ($-2.3 < [Fe/H] < -0.7$) stars was investigated by the model atmosphere method. Parameters of stellar atmospheres and chemical abundances of 20 elements and ions were determined. For the star (G251–54) of metallicity of $[Fe/H]_{\odot} = -1.55$ a considerable deficiency of several elements in regard to both their abundance in the stars of close metallicity and the solar chemical composition was found. To illustrate this fact Fig.39 presents the relation between the value of $[Ca/Fe]$ and metallicity. For oxygen, the α -process elements and elements with odd number of protons (Na, Sc) the deficiency against their abundances in other stars of close metallicity is, on average, about -0.6 dex. At the same time the deficiency of the elements of s-process in the star atmosphere reaches -1.5 dex, and the abundance of the iron group elements (Cr, Ni, Zn) and lithium is in full agreement with the abundance of these elements in the atmospheres of stars of similar metallicity. All is points to an extremely unusual process of enrichment with heavy elements of the interstellar medium, from which this star was then formed. In particular, the deficiency this matter was not enriched with the products of nuclear synthesis of SNeII, which are the final stage of evolution of massive stars.

S.V. Ermakov, V.G. Klochkova, V.E. Panchuk in collaboration with G. Zhao (Beijing Observatory, China)

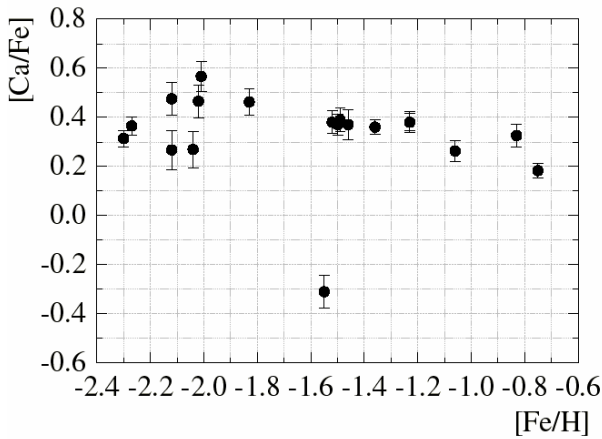


Рис.39. Относительное содержание кальция $[Ca/Fe]$ в зависимости от металличности звезды $[Fe/H]_{\odot}$ для изученных звезд. Звезда G251-54 ($[Fe/H]_{\odot} = -1.55$) имеет anomalously low содержание элемента α -процесса кальция $[Ca/Fe] = -0.31$.

Fig. 39. Relative calcium abundance $[Ca/Fe]$ as a function of star metallicity $[Fe/H]_{\odot}$ for investigated stars. The star G251-54 ($[Fe/H]_{\odot} = -1.55$) has an anomalously low abundance of the α -process element of calcium $[Ca/Fe] = -0.31$.

УФ-атлас высокого спектрального разрешения для звезд гало

Для 4-х звезд различной металличности ($[Fe/H]_{\odot}$ от -0.6 до -2.9 dex) по полученным на БТА спектрам высокого спектрального разрешения ($R = 60000$) создан уникальный атлас в УФ- и синем диапазоне (3550 – 5000 Å). Методом синтетических спектров отобраны и отождествлены 860 линий различных элементов, пригодных для расчета химического состава методом моделей атмосфер. Показана принципиальная возможность использования полученного спектрального материала в задаче радиоактивной хронометрии по линии тория (Th 4021 Å). На рис. 40 представлен фрагмент атласа, включающий линию Nd II с эквивалентной шириной от 2.9 mÅ в спектре G 37–26 до 32.5 mÅ в спектре G 27–44. Спектры были использованы для определения параметров моделей атмосфер и расчета содержания 29-ти химических элементов. В атмосферах HD 188510 и HD 115444 наблюдается большой избыток (по сравнению с остальными звездами) наиболее тяжелых металлов, синтезируемых в реакциях нейтронизации (Nd, Sm, Eu, Gd и Dy), в то время как более легкие металлы (Sr, Y, Zr, Ba, La и Ce) показывают примерно одинаковые избытки для всех звезд.

С.В. Ермаков, В.Г. Клочкова, В.Е. Панчук

UV atlas of high spectral resolution for halo stars

For 4 stars of different metallicity ($[Fe/H]_{\odot}$ from -0.6 to -2.9 dex) a unique atlas was made in the UV and blue range (3550 – 5000 Å) from high resolution spectra ($R = 60000$) obtained at the 6 m telescope. Using the technique of synthetic spectra, 860 lines of different elements suitable for the calculation of chemical composition by the model atmosphere method were selected and identified. A possibility was shown of using the spectral data obtained in performing the task of radioactive chronometry from the thorium line (Th 4021 Å). A fragment of the atlas including the line NdII with the equivalent width from 2.9 mÅ in the spectrum of G 37–26 to 32.5 mÅ in the spectrum of G 27–44 is displayed in Fig. 40. The spectra were used to determine the parameters of the model atmospheres and to calculate the abundance of 29 chemical elements. The heaviest metals synthesized in neutronization reactions (Nd, Sm, Eu, Gd, and Dy) were found to be largely in excess in the atmospheres of HD 188510 and HD 115444 (as compared to the rest of the stars), whereas the lighter elements (Sr, Y, Zr, Ba, La, and Ce) showed approximately the same overabundances for all the stars.

S.V. Ermakov, V.G. Klochkova, V.E. Panchuk

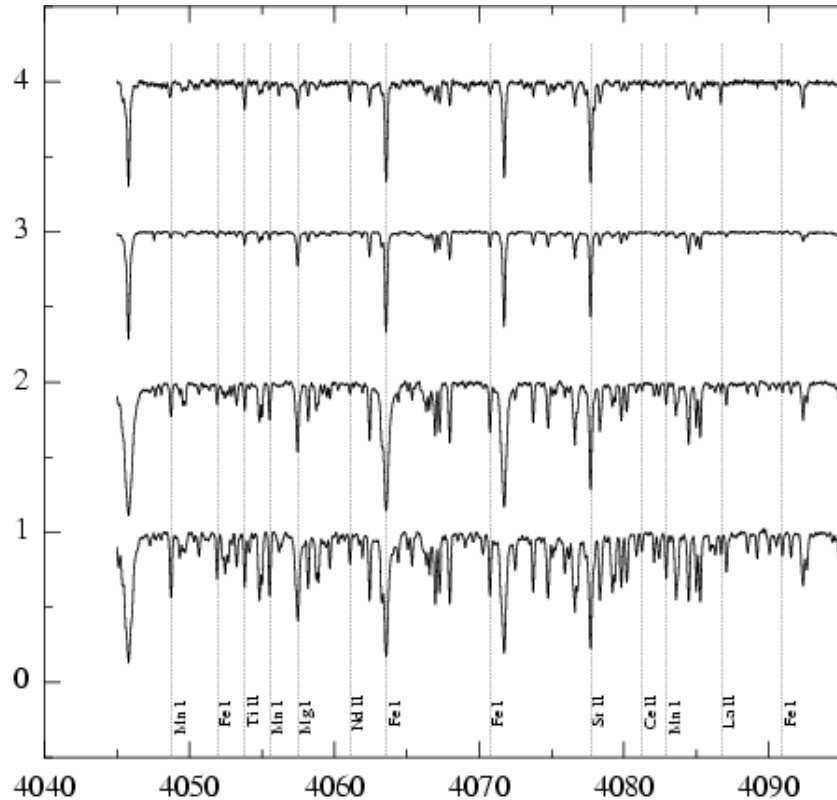


Рис. 40. Фрагмент спектрального атласа для 4-х малометаллических звезд. Сверху вниз: HD 115444 ($[Fe/H] = -2.91$), G 37-26 ($[Fe/H] = -2.04$), HD 188510 ($[Fe/H] = -1.52$), G 27-44 ($[Fe/H] = -0.60$). Представлен один из 29 эшельных порядков, содержащий, в частности, линию NdII 4061 A. Для ориентировки отождествлены несколько спектральных линий.

Fig. 40. A fragment of the spectral atlas for 4 low-metallicity stars. From top to bottom: HD 115444 ($[Fe/H] = -2.91$), G 37-26 ($[Fe/H] = -2.04$), HD 188510 ($[Fe/H] = -1.52$), G 27-44 ($[Fe/H] = -0.60$). One of the 29 echelle orders that contains, in particular, the line NdII 4061 A is presented. Several spectral lines are identified for orientation.

СПЕКТРОСКОПИЯ Be, B[e]-ЗВЕЗД

AS 381 – первая в Млечном пути двойная система из 2-х сверхгигантов.
 В результате наблюдений на обсерваториях России, США, Испании, Узбекистана получены оптические и ИК-спектры и многоцветная фотометрия горячей звезды с эмиссионным спектром AS 381, отождествляемой с ИК-источником IRAS 20047 + 3305. Спектр высокого разрешения содержит множество эмиссионных линий и сильных диффузных межзвездных полос (DIBs), а также абсорбции металлов в красной области спектра. Значение лучевой скорости системы в сочетании с высоким покраснением указывает на большую удаленность объекта, $D \approx 4 \pm 1$ кпк. По нашему мнению, AS 381 является двойной системой, окруженной несферической газопылевой оболочкой (вероятнее всего – в форме диска, видимого практически с полюса). Оба компонента – звезды высокой абсолютной светимости сильно различающихся спектральных классов. Наличие сильных эмиссионных линий H β и HeI в отсутствие линий ионизованного гелия позволяет классифицировать

SPECTROSCOPY OF Be, B[e] STARS

AS 381 is the first binary system of 2 supergiants in the Milky Way.
 As a result of observations at the observatories of Russia, USA, Spain, Uzbekistan, optical and IR spectra and multicolor photometry of the emission spectrum hot star AS 381 identified with the IR source IRAS 20047+3305 were obtained. The high-resolution spectrum contains numerous emission lines and strong diffusion interstellar bands (DIBs), and also absorption lines of metals in the red region of the spectrum. The observed value of the radial velocity of the system in combination with the high reddening points to a great distance of the object, $D \approx 4 \pm 1$ kpc. In our opinion, AS 381 is a binary system surrounded by a non-spherical gaseous-dust envelope (most likely having shape of a disk viewed practically pole-on). The two components are stars of high absolute luminosity of largely distinguished spectral classes. The presence of strong emission lines H β and HeI with the absence of lines of ionized helium allows the spectrum of the hot star to be classified as B1 \pm 1 with $M \approx 20 M_{\odot}$ and luminosity $\log L/L_{\odot} = 4.9$.

спектр горячей звезды как $B1 \pm 1$ с $M \approx 20 M_{\odot}$ и $\log L/L_{\odot} = 4.9$. Присутствие запрещенных линий позволяет отнести ее к B[e]-сверхгигантам. Линии металлов в красной и ближней ИК-области указывают на присутствие холодного компаньона с наиболее вероятным значением спектрального класса K с массой $M \approx 7 M_{\odot}$ и $\log L/L_{\odot} = 3.6$.

Система является родственной таким объектам как CI Cam, MWC 623. Подчеркнем, что AS 381 является первой в Млечном Пути двойной системой из двух сверхгигантов класса светимости II или выше.

Е.Л. Ченцов, В.Г. Ключкова совместно с А.С. Мирошниченко, К.С. Бьеркман (Обсерватория Риттер, США), О.В. Ежковой (Майданакская обсерватория, Узбекистан), Р.О. Грэй (ун-т Аппалачи, США), П. Гарсиа-Ларио (Центр данных ИКО, Испания), Х.В.Переа Колдероном (ESA, Испания), Р.Дж. Руди, Д.К. Линчем, С. Мазуком, К. Вертурини (Аэрокосмическая Корпорация, США), Р. Пуеттером (ун-т Калифорнии, США)

Проблема эволюционного статуса V669 Cep.

В результате наблюдений на обсерваториях России, США, Испании, Казахстана получены оптические и ИК-спектры и фотометрия горячей звезды V669 Cep (оптический компонент ИК-источника IRAS 22248 + 6058) с неясным эволюционным статусом.

В оптическом спектре звезды доминируют запрещенные и разрешенные эмиссии FeII, OI и экстремально сильная эмиссия в H α , что свидетельствует об обмене веществом, продолжающемся в системе. Особенностью является комплексный профиль линий D1,2 дублета NaI, содержащий глубокую узкую межзвездную абсорбцию и широкую эмиссию. Лучевая скорость, соответствующая межзвездному компоненту, указывает на принадлежность объекта Местному рукаву Галактики на расстоянии не менее 1.5 кпк.

Показано, что V669 Cep – двойная система, главная звезда которой относится к типу B[e], а вторичный холодный компаньон, вероятно, является гигантом позднего класса, полностью экранируемым пылевой оболочкой. Характеристики системы позволяют отнести ее к немногочисленному классу двойных звезд с теплой пылевой оболочкой. Отвергнута гипотеза о принадлежности объекта к типу Be-звезд Хербига.

Е.Л. Ченцов, В.Г. Ключкова совместно с А.С. Мирошниченко, К.С. Бьеркман (Обсерватория Риттер, США), Д. Мансе, Дж. Уилсон, Т. Ганде, П. Гарсиа-Ларио (Центр данных ИКО, Испания), П. Колдерон (ESA, Испания), Р.Дж. Руди, Д.К. Линч, С. Мазук, С.С. Вертурини (Аэрокосмическая Корпорация, США), Р. Пуеттер (ун-т Калифорнии, США)

The presence of forbidden lines permits ranking it among B[e] supergiants. The metal lines in the red and IR region are indicative of the presence in the system of a cold companion with the most likely value of the spectral class K with mass $M \approx 7 M_{\odot}$ and $\log L/L_{\odot} = 3.6$.

The system is allied to such objects as CI Cam, MWC 623. It should be emphasized that AS 381 is the first binary system consisting of two supergiants of luminosity class II or higher in the Milky Way.

E.L. Chentsov, V.G. Klochkova in collaboration with A.S. Miroshnichenko, K.S. Bjorkman (Ritter Observatory, USA), O.V. Ezhkova (Majdanak Observatory, Uzbekistan), R.O. Gray (Appalachi University, USA), P. Garsia-Lario (ISO data center, Spain), P. Calderon (ESA, Spain), R.J. Rudy, D.K. Lynch, S. Mazuk, C. Verturini (Astrospace Corporation, USA), R. Puetter (University of California, USA)

Evolutionary status of V669 Cep

As a result of observations at the observatories of Russia, USA, Spain and Kazakhstan optical and IR spectra, as well as multicolor photometry of the hot star V669 Cep (the optical component of the IR source IRAS 22248+6058) with the unclear evolutionary status were obtained.

The forbidden and permitted emission lines of FeII, OI and the extremely strong H α emission dominate in the optical spectrum, which is evidence of matter exchange going on in the system. A distinguishing feature is a complex profile of the line D1,2 of the NaI doublet containing a deep narrow interstellar absorption line and a broad emission line. The radial velocity corresponding to the interstellar component suggests that the object belongs to the Local arm of the Galaxy at a distance no less than 1.5 kpc.

V669 Cep is shown to be a binary system, the primary is a B[e]-type star, while the secondary cold companion is likely to be a late-class giant screened by a dust envelope. The characteristic features of the system allow it to be ranked among the not numerous class of binary stars with a warm dust envelope. The hypothesis that the object is a Be Herbig star is rejected.

E.L. Chentsov, V.G. Klochkova in collaboration with A.S. Miroshnichenko, K.S. Bjorkman (Ritter Observatory, USA), D. Mance, D. Wilson, T. Gande, P. Garsia-Lario (Data Center ISO, Spain), P. Calderon (ESA, Spain), R.J. Rudy, D.K. Lynch, S. Mazuk, S.S. Verturini (Aerospace Corporation, USA), R. Puetter (University of California, USA)

Обнаружение трехпиковой структуры эмиссий в спектре CI Cam.

Получены и проанализированы детальные профили линий в спектре CI Cam (BTA, R = 60000) 4 года спустя после вспышки объекта. CI Cam является двойной системой, включающей B[e]-сверхгигант и невидимый компактный объект (нейтронную звезду или черную дыру).

Наблюдаемые особенности спектра CI Cam: отсутствие абсорбционных линий, сложный эмиссионно-абсорбционный профиль линий D1,2 дублета Na I и присутствие нескольких сильных DIBs. Впервые обнаружена за счет высокого спектрального разрешения трехпиковая структура эмиссий. Это указывает на наличие в системе оптически толстого в континууме диска, наклоненного к лучу зрения.

Пылевая оболочка, по-видимому, также имеет форму диска. По межзвездным деталям в спектре расстояние до CI Cam составляет не более 3 кпк (руква Персея), что соответствует светимости $\approx \log L/L_{\odot} = 4$. С большой вероятностью объект относится к группе B[e]-звезд с “теплой” пылевой оболочкой, в состав которой входят AS 381 и V669 Cep, также изученные по спектрам БТА (см. выше). Отличительной чертой CI Cam является мощная всеволновая вспышка в марте 1998 г.

По-прежнему является нерешенной проблема расстояния до объекта, а, следовательно, и проблема его светимости, для решения которой предлагается выполнить спектроскопию близлежащих сверхгигантов. Актуальным является также дальнейший спектральный мониторинг объекта.

В.Г. Ключкова, В.Е. Панчук совместно с А.С. Мирошниченко, К.С. Бьоркман (Обсерватория Риттер, США)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЗВЕЗД

Построена модель магнитного поля звезды β CrB методом “распределения магнитных зарядов”. Предлагаемая модель отличается от моделей других авторов и ее можно рассматривать как один из возможных вариантов. Оказалось, что магнитное поле описывается суперпозицией двух смещенных поперек оси диполей, расположенных в плоскости экватора в противоположных сторонах от центра звезды. Эти два диполя образуют на поверхности звезды четыре магнитных “пятна” с напряженностью поля в максимумах $B_p = 14$ кГ. Угол наклона оси вращения к лучу зрения $i = 8^\circ$. Делается предположение о сильном влиянии неравномерности распределения химических элементов на измеряемые фазовые зависимости магнитного поля. Сложная конфигурация магнитных полей многих CP-звезд не соответствует реликтовой гипотезе магнитного поля. Сделано предположение, что маломассивные CP-звезды, к кото-

Detection of the three-peak structure of emissions in the spectrum of CI Cam

Detailed profiles of the lines in the spectrum of CI Cam (BTA, R = 60000) 4 years after the object flash were obtained and analyzed. CI Cam is a binary system including a B[e] supergiant and an invisible compact object (a neutron star or a black hole).

The observed particularities of the CI Cam spectrum are as follows: the absence of absorption lines, a complex emission-absorption profile of the line D1,2 of the doublet Na I and the presence of several strong DIBs. Owing to the high spectral resolution a three-peak structure of emissions was first detected. This points to the presence in the system of an optically thick in the continuum disk, which is inclined to the line of sight.

The dust envelope is also likely to have a disk shape. From interstellar features in the spectrum the distance of CI Cam is no more than 3 kpc (Perseus arm), which corresponds to a luminosity $\approx \log L/L_{\odot} = 4$. It is highly probable that the object belongs to the group of B[e] stars with a “warm” dust envelope which includes AS 381 and V669 Cep, also studied from the BTA spectra (see above). A distinguishing feature of CI Cam is a powerful all wave burst in 1998 March.

The problem of the distance of the object, and therefore the problem of its luminosity, remains unresolved. To overcome the problem it is suggested to perform spectroscopy of supergiants located close to the object. Further monitoring of the object is also urgent.

V.G. Klochkova, V.E. Panchuk in collaboration with A.S. Miroshnichenko, K.S. Bjorkman (Ritter Observatory, USA)

INVESTIGATION OF MAGNETIC FIELDS OF STARS

A model of the magnetic field of the star β CrB was constructed by the method of “distribution of magnetic charges”. The proposed model differs from those of other authors and it can be considered as one of the possible versions. It appeared that the magnetic field is described by superposition of two dipoles shifted transverse to the axis, which are located in the equatorial plane on opposite sides from the star center. The two dipoles form four magnetic “spots” on the surface of the star with a magnetic field intensity $B_p = 14$ kG at maxima. The inclination angle of the rotation axis to the line of sight is $i = 8^\circ$. The inhomogeneity of distribution of chemical elements is assumed to affect strongly the measured phase relationships of the magnetic field. The complex magnetic field configuration of numerous CP stars does not correspond to the relic hypothesis of the magnetic field. It was assumed that low-mass CP stars, to which β CrB belongs, might have passed a convective

рым относится β CrV, могли в прошлом проходить конвективную фазу, при которой возможно искажение реликтового магнитного поля и даже генерация нового с квадрупольной структурой.

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

Магнитное поле звезды CU Vir, промоделированное методом “распределения магнитных зарядов”, соответствует модели смещенного поперек оси диполя, параметр смещения $a = 0.3$, угол наклона оси диполя к оси вращения $\beta = 87^\circ$, величина поля на полюсах $B_p(-) = 7.9$ кГ и $B_p(+)=1.2$ кГ. Среднее поверхностное поле меняется в пределах от 1.2 до 3.2 кГ. Ось диполя повернута от нулевого меридиана (фаза = 0) на угол 30° . Вычислено распределение напряженности магнитного поля по поверхности, которое мы сравнили с распределением химических элементов He, Si. Кремний концентрируется вокруг отрицательного магнитного полюса. Гелий – в области положительного полюса. Присутствие двойных кремниевых пятен предполагает более сложную структуру магнитного поля, чем просто дипольную. Результат подтверждает предположение, что одни химические элементы стремятся сконцентрироваться там, где магнитные силовые линии вертикальны, а другие там, где они горизонтальны к поверхности.

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

Для исследования изменения магнитного поля CP-звезд с возрастом на основании последних опубликованных данных построена зависимость величины поверхностного магнитного поля B_s от относительного радиуса R/R_{ZAMS} (40 звезд). Этот параметр пропорционален $\log g$ и хорошо характеризует эволюционный статус на ГП. Для основной части звезд полученная зависимость имеет заметный рост с возрастом до полосы, занимаемой звездами V класса светимости ($R/R_z \approx 1.3$). Однако звезды HD 37776, HD 119419, HD 215441, HD 175362 с экстремально сильными магнитными полями располагаются особняком. Если поле CP-звезд в первом приближении дипольное, то по мере эволюции их поперек полосы ГП поверхностное поле теоретически должно уменьшаться обратно пропорционально кубу относительного радиуса R/R_{ZAMS} . Для звезд класса светимости больше V имеет место зависимость $B_s=20 (R/R_{ZAMS})^{-3}$. Таким образом, зависимость сначала возрастает, не подчиняясь этому закону, а затем падает. По-видимому, поверхностное магнитное поле сначала растет вследствие его появления на ZAMS. Уменьшение поля обратно пропорционально кубу радиуса подтверждает предположение, что оно затухает только вследствие омической диссипации за время не менее 10^{10} – 10^{11} лет и нет других источников его разрушения.

tive phase at which distortion of the relic magnetic field was possible and even generation of a new field with a quadruple structure could occur.

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

The magnetic field of the star CU Vir by the method of “distribution of magnetic charges” corresponds to the model of the dipole displaced transverse the axis, the displacement parameter $a=0.3$, the inclination angle of the dipole axis to the rotation axis $\beta=87^\circ$, a magnetic field at the poles $B_p(-)=7.9$ kG and $B_p(+)=1.2$ kG. The average magnetic field varies within the limits 1.2 to 3.2 kG. The dipole axis is turned from the zero meridian (phase=0) by an angle of 30° . The distribution of the magnetic field strength over the surface, which we compared with the distribution of the chemical elements He, Si, was computed. Silicon is concentrated around the negative magnetic pole. Helium is concentrated in the region of the positive pole. The presence of double silicon spots suggest a more complex magnetic field structure than merely dipolar. The result confirms the assumption that some chemical elements tend to concentrate where the magnetic lines of force are vertical, and some of them concentrate where they are horizontal to the surface.

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

To investigate the variation of the magnetic field of the CP stars against age on the basis of the latest published data, a relationship between the surface magnetic field intensity B_s and the relative radius R/R_{ZAMS} (40 stars) was constructed. This parameter is proportional to $\log g$ and characterizes well the evolution status on the MS. The relationship derived for the greater part of the stars has a pronounced rise with age up to the band occupied by the stars of luminosity class V ($R/R_z \approx 1.3$). However, the stars HD 37776, HD 119419, HD 215441, HD 175362 with extremely strong magnetic fields keep aloof. If the field of the CP stars is dipolar in a first approximation, then, as they evolve across the MS, the surface field must decrease theoretically in inverse proportion to the cube of the relative radius R/R_{ZAMS} . For stars of luminosity class higher than V, the relationship $B_s=20 (R/R_{ZAMS})^{-3}$ is valid. Thus, the relationship increases first, not following this law, and then drops. Apparently, the surface magnetic field first increases as a result of its appearance on the ZAMS. The field decrease in inverse proportion to the 3rd power of the radius confirms the assumption that it decays only as a result of ohmic dissipation during the time not less than 10^{10} – 10^{11} years, and there are no other reasons of its destruction. The particular behavior of the four extremely magnetic stars is unclear yet. It is possible that the field on their surface

Особое поведение экстремальных четырех звезд остается пока непонятным. Возможно, поле на их поверхности появилось до выхода на ГП и его рост произошел раньше.

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

На основании собственных измерений и литературных данных вновь изучены магнитные поля выборки CP-звезд, у которых поля ранее не были найдены, т.к. оказались меньше ошибок измерений, равных в среднем 200 Г. Поле не было обнаружено у некоторых из них и при измерениях с более высокой точностью. Получена верхняя граница поля в 40 Г (0 ± 15 Г) для одной из таких звезд, HD 10221. Несмотря на слабость полей параметры, характеризующие аномальность химсостава, соответствуют по величине сильным полям. Эти же параметры у звезд с сильными полями в общем соответствуют их величине, хотя в случае HD 47152 они слабее ожидаемых. Аномалии ряда параметров (Z , Δa) могут значительно выходить за рамки средних зависимостей. Звезды со слабыми магнитными полями не соответствуют известному соотношению: величина магнитного поля пропорциональна степени химических аномалий. Вывод: магнитное поле не является определяющим фактором при формировании химических аномалий, хотя оно, вероятно, облегчает диффузию.

Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов

Представлен список эффективных температур более 400 магнитных CP-звезд, оцененных по фотометрическим данным с помощью калибровки по полному потоку. Эффективные температуры проанализированы путем сравнения с данными Hipparcos. Показано, что используемая шкала температур не имеет систематических ошибок. Имеющиеся отклонения температур отдельных звезд связаны с индивидуальными ошибками и влиянием блокировки спектральными линиями. Кроме температур, вычислены абсолютные звездные величины и относительные радиусы R/R_{ZAMS} .

Ю.В. Глаголевский

ПОИСК МАГНИТНОГО ПОЛЯ У РТУТНО-МАРГАНЦЕВЫХ ЗВЕЗД

Наблюдаемые большие аномалии содержания химических элементов у ртутно-марганцевых звезд наводят на мысль о существовании у них магнитного поля. Первые попытки обнаружить магнитное поле дали отрицательный результат. Это привело Престона к заключению о слабости магнитных полей этих звезд. Матис и Хюбриг сообщали об обнаружении уширения спектральных линий, возможно, вызванного магнитным полем сложной

appeared before the MS stage and it had increased earlier.

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

On the basis of our own measurements and literature data the magnetic fields of a sample of CP stars in which no magnetic fields had been found, that is, they turned out to be smaller than the measurement errors equal on the average to 200 G, were studied again. The field was not detected in some of them even with measurement of higher accuracy. The upper limit of the field of 40 G (0 ± 15 G) was derived for one of such stars, HD 10221. Despite the weakness of the fields, the parameters that characterize the chemical composition anomaly correspond to strong fields. The same parameters for stars with strong magnetic fields correspond, in general, to their strength, although, in the case of HD 47152 they are weaker than it was expected. The anomaly of a number of parameters (Z , Δa) may fall considerably beyond the frames of the average relations. Stars with weak magnetic fields do not correspond to the known relation: the magnetic field intensity is proportional to the degree of chemical anomalies. The conclusion: the magnetic field is not a decisive factor in formation of chemical anomalies, although it is likely to assist diffusion.

Yu.V. Glagolevskij, G.A. Chountonov

It is presented a list of the effective temperatures of more than 400 magnetic CP stars estimated from photometry data with the aid of calibration over the total flux. The effective temperatures were analyzed by means of comparison with the Hipparcos data. The temperature scale used is shown to have no systematic errors. The deviations of temperatures of individual stars are associated with individual errors and with the influence of blocking by spectral lines. Apart from the temperatures, absolute stellar magnitudes and relative radii R/R_{ZAMS} were computed.

Yu.V. Glagolevskij

SEARCH FOR MAGNETIC FIELD OF MERCURY-MANGANESE STARS

The observed high anomalies of chemical elements abundances of mercury-manganese stars suggest existence of magnetic field in them. The first attempts to detect a magnetic field gave negative results. It led Preston to the conclusion that the magnetic field of these stars is considerably weaker than that of well known magnetic stars. G. Mathys and Hubrig reported a detection of broadening of spectral lines which could be caused by a magnetic field of several kGs having a

формы величиной в несколько кГс. Такой способ поиска магнитного поля требует спектрального разрешения больше 100000 и применим только для звезд с очень узкими линиями и имеет невысокую точность. Мы полагаем, что высокоточные измерения продольной составляющей поля даже при сложной его конфигурации, когда области разной полярности почти компенсируют поляризацию в линии, позволяя в подходящей фазе вращения звезды обнаружить магнитное поле.

Наблюдения проводились на ОЗСП 6-м телескопа в реализованном нами режиме измерений с циклическим переносом электронного изображения на ПЗС и одновременным переключением состояния света с помощью фазовращающего жидкокристаллического элемента. Измерения проводились по линиям в области 6360Å, в которой жидкокристаллический фазовращатель наиболее эффективен. Производилось более 10 экспозиций для каждой звезды. По ним определялось значение магнитного поля и ошибка измерений. Результаты измерений для 7 ртутно-марганцевых звезд приведены в таблице. Точность измерений по сравнению с опубликованными ранее данными в среднем повышена в три раза. Из таблицы видно, что магнитное поле не обнаружено.

Г.А. Чунтонов

complex configuration. Such a way of search for magnetic field demands a spectral resolution of more than 100000. It is applicable only to stars with very narrow lines and its precision is low. We suppose that the high-precision measurements of the longitudinal field component even with a complex field configuration, when the regions of different polarity nearly compensate the polarization in a line allows us to detect magnetic field at a suitable phase of star rotation.

The observations were carried out with the main stellar spectrograph of 6 m telescope. We implemented a mode of measurements with cyclic transfer of the electronic image on CCD with simultaneous switching of light state with the help of liquid crystalline phase shifter. The measurements were performed in lines of the 6360Å region, where the liquid crystalline phase shifter is the most effective. More than 10 exposures were made for each star. They were used to determine the value of the magnetic field and measurement errors. The results of measurements for 7 mercury-manganese stars are presented in the table. The measurement accuracy is, in average, three times as high as the data published earlier. As it seen from the table, the magnetic field was not detected.

G.A. Chuntonov

Star	Field Be (G)	r.m.s. (G)	V sini	Date of observations
αAnd	+24	50	56.0	10.09.2000
	-41	60	56.0	25.12.2000
33 Gem	+33	50	22	23.12.2000
	-11	10	22	24.12.2000
53 Tau	+31	20	6.5	25.12.2000
HD 78316	+53	30	7.0	25.12.2000
	-81	30	7.0	24.01.2002
HD 89822	-42	50	3.2	25.12.2000
HD 143807	-64	30	1.0	16.06.2000
HD 145389	-22	40	7.0	11.02.2001

О ВОЗМОЖНЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ АТМОСФЕР AP/BP МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД

Обсуждаются свойства атмосфер магнитных звезд ранних спектральных классов. Медленное затухание (или генерация) магнитного поля индуцирует электрический ток во всех электропроводящих слоях звезды. Сила Лоренца, возникающая в результате взаимодействия между магнитным полем и индуцированным током, способна изменять структуры атмосферы и, тем самым, обнаружить эволюцию глобальных звездных магнитных полей.

Нами рассчитан ряд моделей атмосфер Ap/Bp магнитных звезд с учетом силы Лоренца в гидро-

ON POSSIBLE HYDROSTATIC STRUCTURES OF THE ATMOSPHERES OF AP/BP MAGNETIC STARS

Properties of the atmospheres of magnetic stars of early spectral classes are discussed. The slow decay (or generation) of a magnetic field induces an electric current in all conducting layers of a star. The Lorentz force arising as a result of interaction between the magnetic field and the induced current is capable of changing the structure of the atmosphere and thus to reveal evolution of global stellar magnetic fields.

We computed a number of model atmospheres of Ap/Bp magnetic stars with allowance for the Lorentz

статическом балансе сил. Геометрия магнитного поля при этом представлена классическим осесимметричным диполем, слабо искаженным влиянием индуцированных эволюцией токов. Механизм взаимодействия магнитного поля и электрического тока описан через микроскопические характеристики атмосферной плазмы. Когда вертикальная компонента силы Лоренца направлена наружу от звезды (случай затухания поля), или внутрь (магнитное поле растет в процессе эволюции), атмосферные свойства, эффективная гравитация в частности, могут изменяться значительно по сравнению с обычной, “не магнитной” атмосферой. Как результат, эти изменения отражаются на форме спектральных линий этих звезд – особенно профилей водородных линий. Более того, модуляция усредненных по диску параметров глобального магнитного поля из-за вращения звезды также приводит к переменной профилей водородных линий.

Используя теоретические предсказания из расчетов наших моделей, мы анализируем также наблюдательный аспект проблемы в контексте эволюции магнитных полей. Наша интерпретация и методика основаны пока на анализе литературных данных H β -фотометрии. Главным результатом настоящей работы является создание нового модельного подхода к проблеме оценок характеристических времен эволюции глобальных магнитных полей звезд. Предварительно наши результаты показывают, что эти времена могут быть порядка 10^7 лет. Это значительно короче, чем предсказано теоретически.

Г.Г. Валявин совместно с О. Кочуховым, Н. Пискуновым (Упсальская обсерватория, Швеция)

НОВЫЕ МАГНИТНЫЕ CP-ЗВЕЗДЫ

Закончен первый этап работ по поиску новых магнитных звезд среди звезд с большими депрессиями на 5200 Å в непрерывных спектрах. Мы нашли феноменологический признак, указывающий на возможное присутствие магнитного поля – неотожествленную деталь на $\lambda 5150$ Å на профиле указанной депрессии, которая различима на спектрах с низким разрешением. Предварительный отбор кандидатов проводился на основании анализа результатов наших наблюдений на 1-м телескопе САО. Наблюдения на 6-м телескопе с зеемановским анализатором были выполнены в 2001–2002 гг. Для каждого объекта получено не менее 3-х спектров. Измерения показали, что наличие детали на 5150 Å в спектрах пекулярных звезд является хорошим индикатором присутствия магнитного поля в их атмосферах. В табл. 5 приведены сведения о новых магнитных CP-звездах, обнаруженных нами. За 2 года найдена 21 магнитная CP-звезда, из них 9 – слабее 9^m. Это позволило более чем в 2 раза (с 8 до 17) увеличить количество далеких слабых звезд с обнаруженными магнитными

force in a hydrostatic balance of forces. The magnetic field geometry is represented by a classical axially symmetric dipole slightly affected by influence of induced by evolution currents. The mechanism of interaction between the magnetic field and the electric current is described through microscopic characteristics of atmospheric plasma. When the vertical component of the Lorentz force is directed outward of the star (the case of decay of the field) or inward (the magnetic field grows in the process of evolution), the atmospheric properties, the effective gravitation in particular, may change considerably as compared to the usual “non-magnetic” atmosphere. As a result, these changes have an effect on the shape of spectral lines of these stars, especially on the profiles of hydrogen lines. Moreover, the modulation of the parameters (averaged over the disk) of a global magnetic field caused by the star rotation also lead to variations of hydrogen line profiles.

Using the theoretical predictions from the calculations of our models we have also analyzed the observational aspect of the problem in the context of evolution of magnetic fields so far. Our interpretation and the method are based on the analysis of literature data of H β photometry. The basic result of the present work is the creation of a new model approach to the problem of estimations of characteristic times of evolution of global magnetic fields of stars. Tentatively our results show that these times may be of the order of 10^7 years. This is much shorter than predicted theoretically.

G.G. Valyavin in collaboration with O. Kochukhov, N. Piskunov (Uppsala Observatory, Sweden)

NEW MAGNETIC CP STARS

The first stage of searching for new magnetic stars among the stars with large depressions at 5200 Å in the continuous spectra was completed. We found a phenomenological attribute pointing to possible presence of a magnetic field – an unidentified detail at a wavelength of about 5150 Å in the profile of the indicated depression, which is discernible in low resolution spectra. Preliminary selection of candidates was performed on the basis of the analysis of our observations made at the 1 m telescope of SAO. Observations with the Zeeman analyzer at the 6 m telescope were carried out in 2001 – 2002. Not less three spectrums were obtained for each object. Measurements showed that the presence of the detail at 5150 Å in spectra of peculiar stars is a good indicator of the presence of a magnetic field in their atmospheres. The data on the new magnetic CP stars that we detected are given in Table 5. During 2 years we found 21 magnetic CP stars, nine of them are fainter than 9^m. This increased the number of distant faint stars with detected magnetic fields by more than a factor of 2 (from 8 to 17, see the catalog of Romanyk, 2000).

Звезда	V (m)	B _e (Гс)		[n]
		min	max	
HD 6757	7.7	+2720	+3100	6
HD 29925	8.3	-1100	-200	4
HD 34162	8.7	- 620	+190	4
HD 38823	7.3	-2490	-20	4
HD 39658	8.8	- 970	+1350	4
HD 40711	8.6	- 650	+320	4
HD 53081	9.7	- 610	+40	3
HD 115606	8.6	- 760	+680	3
HD 134793	7.5	- 810	+900	3
HD 168796	7.9	- 870	+510	4
HD 169887	9.0	-2340	+1210	3
HD 178892	9.0	+5280	+8490	6
HD 196691	8.6	+ 630	+2290	4
HD 209051	8.8	-3300	-1040	4
HDE 231054	10.0	+ 380	+2530	4
HDE 293764	9.6	+3590	+4040	3
HDE 338226	9.8	+ 640	+1490	3
HDE 343872	9.9	- 760	+3860	16
BD -01.709	9.9	- 710	+890	3
BD +17.3622	8.8	+ 980	+1660	3
BD +32.2827	9.9	- 780	+60	3

Таблица 5. Сведения о новых магнитных звездах. Приведены номер по каталогу HD/BD, V – визуальная звездная величина, B_e (min/max) – экстремальные значения магнитного поля, [n] – количество полученных спектров.

Table 5. Information about new magnetic stars. V – the visual stellar magnitude, B_e (min/max) – extreme magnetic field values, [n] – the number of spectra obtained.

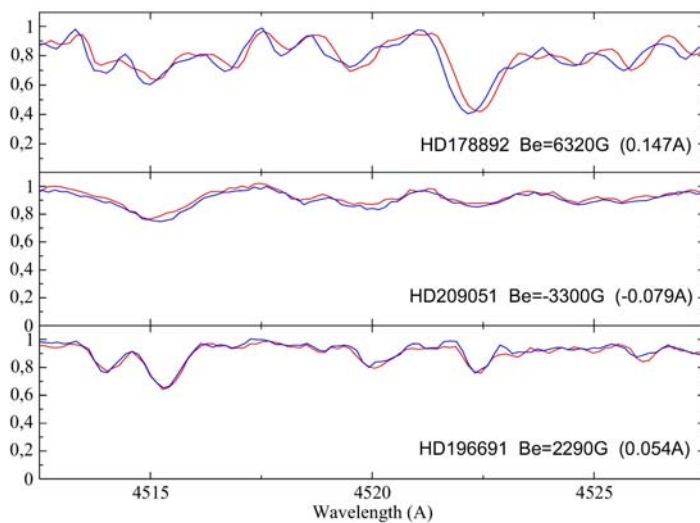


Рис. 41. Примеры зеемановских спектров звезд с магнитными полями.

Fig. 41. Examples of Zeeman spectra of stars with magnetic fields.

полями (см. каталог Романюк, 2000). Таким образом, мы примерно в 2 раза увеличиваем радиус пространства, в котором можно систематически исследовать магнитные звезды (с 0.5–0.6 до 1–1.5 кпк), что, в свою очередь, позволяет искать связи между магнитными полями отдельных звезд и строением магнитного поля Галактики.

Среди обнаруженных нами магнитных звезд найден объект (HD 178892), обладающий одним из сильнейших магнитных полей среди невырожденных звезд (продольный компонент B_e превышает 8 кГс). Для примера, на рис. 41 приведены зеемановские спектры некоторых звезд с наиболее сильными магнитными полями.

В.Г. Елькин, Д.О. Кудрявцев и И.И. Романюк

Thus, we increased about 2 times (from 0.5–0.6 kpc to 1–1.5 kpc) the radius of space in which one can systematically investigate magnetic stars, which, in turn, make it possible to look for relations between magnetic fields of individual stars and the structure of the Galaxy magnetic field.

Among magnetic stars that we detected an object (HD 178892) was found with one of the strongest magnetic fields among non-degenerate stars (longitudinal component B_e is above 8 kG). For illustration, Fig. 41 shows the Zeeman spectra of some stars with the strongest magnetic fields.

V.G. Elkin, D.O. Kudryavtsev, I.I. Romanyuk

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ С WR-КОМПОНЕНТОМ

В 1994–2002 гг. проводился поиск долговременных (на шкале годы) вариаций линейной поляризации (P) WR двойных систем или, иными словами, проверка стабильности их поляризационных кривых со временем. Наблюдательный материал был получен на 1-м телескопе САО для CQ Cep, CX Cep, HD 211853 и V444 Cyg. Использовались также литературные данные для этих звезд и трех более широких пар WR+O HDE 311884, HD 97152 и HD 152270.

CQ Cep ($P = 1.64^d$), CX Cep ($P = 2.13^d$) и HD 211853 ($P = 6.69^d$) показали значительную долговременную переменность линейной поляризации ($\Delta P \approx 1\%$). Характер этой переменности для WR двойных систем с общей оболочкой (CQ Cep, CX Cep) и для более широкой WR+O пары, входящей в состав HD 211853, обнаруживая общие черты, несколько различен. Подтвердилось удивительное постоянство со временем кривой поляризации V444 Cyg ($P = 4.21^d$). Анализ более широких WR двойных систем показал, что, если HDE 311884 ($P = 6.34^d$) и HD 97152 ($P = 7.86^d$) еще имеют долговременные изменения поляризации ($\Delta P \approx 0.2\text{--}0.3\%$), то у самой широкой из этих трех систем HD 152270 ($P = 8.89^d$) они отсутствуют.

В корне долговременной переменности линейной поляризации WR двойных систем, по видимому, лежит физическая активность WR-компонентов, проявляющаяся в эпизодическом разбухании оболочек и последующем сбросе их самых внешних слоев. Причиной переменности являются, вероятно, изменения яркости (неполяризованного света) O-спутников, вызванные активностью WR-звезд. Степень тесноты систем и связанная с ней степень заполнения WR-оболочками внутренних критических полостей (ВКП) звезд, вероятно, определяют присутствие и характер долговременных изменений линейной поляризации этих систем. Возможны четыре варианта долговременного поведения P в WR двойных системах.

Получены грубые оценки размеров WR-оболочек в спокойном и возбужденном состояниях ($> 14 R_{\odot}$ и $< 19\text{--}24 R_{\odot}$ соответственно), которые хорошо согласовываются с общепринятыми оценками размеров WR-оболочек ($20\text{--}30 R_{\odot}$). Размеры ВКП WR-звезд, входящих в CQ Cep, CX Cep и WR+O пару в HD 211853, хорошо согласовываются с характером обнаруженной у этих систем долговременной переменности P , что подтвердило наши исходные предположения.

Т.А. Карташева совместно с М.А. Свечниковым (УрГУ)

LONG-TERM LINEAR POLARIZATION VARIATIONS OF BINARY SYSTEMS WITH A WR COMPONENT

In 1994–2002 a search for long-term (on a scale of years) variations of linear polarization (P) of WR binary systems or, in other words, check of the time stability of their polarization curves was carried out. The observational data were obtained at the 1 m telescope of SAO for CQ Cep, CX Cep, HD 211853 and V444 Cyg. Literature data were also used for these stars and for three wider pairs WR+O HDE 311884, HD 97152 and HD 152270.

CQ Cep ($P = 1.64^d$), CX Cep ($P = 2.13^d$) and HD 211853 ($P = 6.69^d$) showed a considerable long-term linear polarization variability ($\Delta P \approx 1\%$). The character of this variability for the WR binary systems with a common envelope (CQ Cep, CX Cep) and for the wider pair WR+O being included in HD 211853 is somewhat different (although some common features were revealed). The remarkable time stability of the V444 Cyg ($P = 4.21^d$) polarization curve was confirmed. Analysis of wider WR binary systems showed that HDE 311884 ($P = 6.34^d$) and HD 97152 ($P = 7.86^d$) exhibited the long-term variability of their polarization ($\Delta P \approx 0.2\text{--}0.3\%$), whereas in the widest of the three systems, HD 152270 ($P = 8.89^d$), it was absent.

The physical activity of the WR components manifesting itself in the occasional swelling of the envelopes and subsequent expulsion of the outermost layers is likely to be responsible for the long-term linear polarization variability of the WR binary systems. The variability is likely to be due to the brightness variations (of unpolarized light) of the O companions caused by the activity of WR stars. The degree of closeness of the system and associated with it filling degree of the inner critical lobes (ICL) of stars probably determines the presence and character of long-term linear polarization variations of these systems. Four corresponding versions of the long-term variability of P in WR binary systems are possible.

Rough estimates of the sizes of WR envelopes in a quiescent and excited states ($> 14 R_{\odot}$ and $< 19\text{--}24 R_{\odot}$, respectively), which were in good agreement with the generally accepted sizes of WR envelopes ($20\text{--}30 R_{\odot}$) were obtained. A comparison of these constraints with the sizes of the ICL of WR stars being components of CQ Cep, CX Cep and of the WR+O pair in HD 211853 fits well the character of the long-term variability of P detected in these systems, which corroborated our initial assumptions.

T.A. Kartasheva in collaboration with M.A. Svecnikov (USU)

ДИНАМИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПОЛЯРОВ BG CANIS MINORIS, YY DRACONIS И GK PERSEI

Промежуточные полярны (IPs) BG CMi, YY Dra и GK Per исследованы методом динамической спектроскопии на сканере 6-м телескопа. Спектральное изучение переменности BG CMi и YY Dra обнаружило узкополосные осцилляции или статистически значимые детали в их спектрах мощности в то время, как аналогичные осцилляции в GK Per не были найдены. Узкополосные осцилляции в профилях бальмеровских и HeII 4886 эмиссионных линий наблюдались в спектрах BG CMi с периодом, равным периоду собственного вращения белого карлика (913 с). Ширина деталей в спектрах мощности менялась от 2–3 до 8–10 Å. Спектры мощности YY Dra обнаружили осцилляции как с периодом собственного вращения белого карлика, так и с периодом в два раза меньшим. Для сравнения узкополосных осцилляций в спектрах различных промежуточных поляров мы формально посчитали число событий обнаружения этих осцилляций в одной экспозиции и в одном и том же диапазоне длин волн. В результате было обнаружено, что число таких событий в спектрах мощности BG CMi значительно больше, чем в спектрах YY Dra и GK Per. Было найдено, что число аналогичных событий в спектрах мощности промежуточных поляров BG CMi, V405 Aur и PQ Gem приблизительно одинаково. Эти объекты образуют группу промежуточных поляров с полярноподобными полями (8–20 MG), в то время как YY Dra и GK Per относятся к объектам со слабыми магнитными полями. Эта взаимосвязь между силой магнитного поля промежуточного полярника и числом событий обнаружения узкополосных осцилляций в его спектре мощности является дополнительным аргументом в пользу присутствия сильных магнитных полей в областях формирования излучения, вызывающего узкополосные осцилляции в спектрах промежуточных поляров.

H.N. Somov и T.A. Somova

Опубликовано в Bull. of Spec. Astrophys. Obs., 2001, 51, 68

НАБЛЮДЕНИЯ НЕОБЫЧНОЙ НОВОЙ ЗВЕЗДЫ В ЕДИНОРОГЕ 2002 Г. (V838 MON)

В январе 2002 г. в созвездии Единорога появилась пекулярная новая V838 Mon, которая во вспышке показала спектр холодной звезды класса K с абсорбционными линиями. Такие события наблюдались в нашей и других галактиках очень редко и поэтому мало изучены. Спектры с разрешением 2.2–5.0 Å в разных стадиях вспышки и ПЗС фотометрия были получены на 1-м телескопе в САО, дополнительная фотоэлектрическая и ПЗС фото-

DYNAMIC SPECTROSCOPY OF THE INTERMEDIATE POLARS BG CANIS MINORIS, YY DRACONIS AND GK PERSEI

The intermediate polars (IPs) BG Cmi, YY Dra and GK Per were investigated by dynamic spectroscopy with the scanner of the 6 m telescope. The spectral study of variability of BG CMi and YY Dra revealed narrow-band oscillations or statistically significant details in their power spectra, whereas no similar oscillations were found in GK Per. The narrow-band oscillations in the profiles of Balmer and HeII 4886 emission lines were observed in the spectra of BG CMi with a period equal to the proper rotation period of the white dwarf (913 s). The width of the details in the power spectra varied from 2–3 to 8–10 Å. The power spectra of YY Dra showed oscillations both with the period of proper rotation of the white dwarf and with the period twice as short. For comparison of the narrow-band oscillations in the spectra of different intermediate polars, we counted formally the number of events of detection of these oscillations during one exposure and in the same wavelength range. As a result, it was found that the number of such events in the power spectra of BG CMi is much larger than in the spectra of YY Dra and GK Per. The number of similar events in the power spectra of the intermediate polars BG CMi, V405 Aur and PQ Gem was discovered to be approximately equal. These objects form a group of intermediate polars with polar-like fields (8–20 MG), while YY Dra and GK Per rank among objects with weak magnetic fields. This correlation between the magnetic field strength of an intermediate polar and the number of detections of the narrow-band oscillations in its power spectrum is an additional argument in favor of the presence of strong magnetic fields in the regions of emission generation, which cause narrow-band oscillations in the spectra of intermediate polars.

N.N. Somov, T.A. Somova

Published in Bull. of Spec. Astrophys. Obs., 2001, 51, 68

OBSERVATIONS OF A PECULIAR NOVA IN MONOCEROS IN 2002 (V838 MON)

A peculiar nova, V838 Mon which showed in the explosion a spectrum of a cold star of class K with absorption lines, appeared in the constellation Monoceros in 2002 January. Such events were observed in our Galaxy and other galaxies very rarely and therefore were not clearly understood. Spectra with a resolution of 2.2–5.0 Å at different stages of the outburst and CCD photometry were obtained at the 1 m telescope of SAO; additional photoelectric and CCD

метрия – в ГАИШ. В течение 45 лет перед вспышкой блеск звезды был стабильным, около 15.85^m в полосе В. Это была голубая звезда с показателем цвета $(B-V)_0 = -0.03 \pm 0.1^m$. Вспышка продолжалась 5 месяцев и ее амплитуда достигла $B = 8.1^m$. Кривые блеска и показателей цвета V838 Mon демонстрируют существенные отличия от классических новых звезд. Видна предмаксимальная стадия, проходившая при низкой поверхностной температуре, о чем свидетельствуют красные показатели цвета. Наблюдалось два пика яркости, которые сопровождалось повышением температуры поверхности. Это явление интерпретируется как выход на поверхность звезды ударных волн. На спаде блеска поведение показателей цвета свидетельствовало об охлаждении поверхности звезды и перемещении максимума излучения в ИК-область. Так что не наблюдалось перехода новой в небулярную стадию, как у классических новых, когда оболочка становится оптически тонкой и разреженной.

Необычный спектр в предмаксимальной стадии похож на спектр фотосферы холодного гиганта класса К с усилением в 3–4 раза абсорбционных линий водорода и нейтральных металлов по сравнению с нормальными звездами. Предполагается, что линии поглощения формировались в плотной атмосфере, расположенной над фотосферой звезды. Некоторые линии Na, Ba, Mg, Li имели сложные профили типа P Cyg, что свидетельствует о расширении фотосферы. Скорость расширения фотосферы равна 150 км/с, максимальная скорость в расширяющейся оболочке звезды доходила до 500 км/с. Содержание элементов в оболочке близко к нормальному, не обнаружено избытка элементов s-процесса. Поэтому можно предположить, что сильные линии лития в фотосфере V838 Mon могут быть связаны с взрывом водородного (а не гелиевого) горючего в недрах звезды и с перемешиванием вещества в расширяющейся оболочке, так что литий попал в фотосферу в результате вспышки.

В пике яркости 6 февраля в спектре V838 Mon появилась сильная эмиссия H α с широкими крыльями $FWZI = 3100$ км/с и многочисленные линии ионизованных атомов металлов, что уже характерно для классических новых. Но по мере ослабления блеска вновь усилились линии нейтральных атомов металлов, а линии ионизованных атомов стали ослабевать. Наблюдения звезды во второй половине 2002 г. показали, что в оптическом диапазоне звезда вернулась к спокойному состоянию, и в коротковолновых фотометрических полосах стала даже слабее, чем до вспышки. В ИК-лучах она остается еще очень яркой, $I = 8.4^m$ в ноябре–декабре 2002 г. После вспышки вокруг звезды наблюдается быстро расширяющаяся круглая туманность – световой фронт вспышки. ПЗС изображение этой туманности, полученное 26 ноября 2002 г. в фильтре V, показано на рис. 42. К дате получения снимка (293-й день после пика яр-

photometry was obtained at the Sternberg Astronomical Institute. During 45 years preceding the explosion the brightness of the star was stable, about 15.85^m in the B band. This was a blue star with the color index $(B-V)_0 = -0.03 \pm 0.1^m$. The outburst lasted for 5 months and its amplitude reached $B = 8.1^m$. The light and color curves of V838 Mon showed its significant distinction from the classical novae. A premaximum stage that took place at low surface temperature is seen, which is evidenced by the red color indices. Two brightness peaks accompanied by rising surface temperature were observed. This phenomenon is interpreted as emergence of shock waves to the surface of the star. As the brightness dropped, the behavior of the color indices was indicative of surface star cooling and displacement of emission maximum to the IR region. Thus, no transition of the nova to the nebula stage was observed, as is the case with the classical novae when the envelope becomes optically thin and rarefied.

An unusual spectrum at the premaximum stage resembles the spectrum of the photosphere of a cold giant of class K with intensification of the absorption hydrogen and neutral metal lines by a factor of 3–4 as compared to normal stars. Absorption lines are supposed to be formed in the dense atmosphere located above the photosphere of the star. Some lines of Na, Ba, Mg, Li had complex profiles of P Cyg type, which points to expansion of the photosphere. The photosphere expansion velocity is 150 km/s, the maximum velocity in the expanding envelope of the star reached 500 km/s. The abundance of elements in the envelope was close to normal, no overabundance of the s-process elements was found. So, it can be assumed that the strong lithium lines in the photosphere of V838 Mon may be associated with an explosion of hydrogen (but not helium) combustible in the stellar entrails and with mixing of matter in the expanding envelope; so lithium appeared in the photosphere as a result of the outburst.

A strong emission H α line with broad wings, $FWZI = 3100$ km/s, and numerous lines of ionized atoms of metals appeared in V838 Mon at the brightness peak on February 6, which is characteristic of the classical novae. However, as the brightness fell, the lines of neutral metal atoms strengthened again, while the lines of ionized atoms began to weaken. The observations made in the second half of 2002 showed that in the optical range the star returned to its quiescent state, and in the short-wave photometric bands it became even fainter than prior to the burst. In IR it remained very bright, $I = 8.4^m$, in 2002 November–December. After the outburst, a rapidly expanding round nebula was observed around the star – the light front of the outburst. A CCD image of this nebula obtained on November 26, 2002 in the V filter is shown in Fig. 42. On the date the image was obtained (293-rd day after the brightness peak), the light spread to a distance of 36" from the star, and the

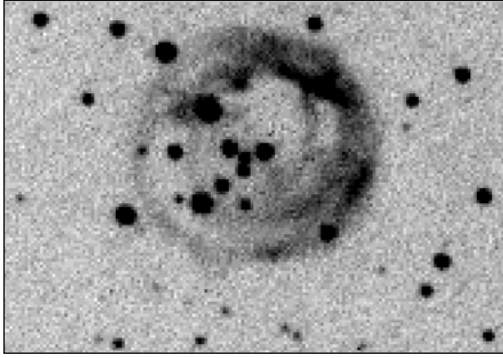


Рис. 42. Изображение туманности вокруг V838 Mon, полученное 26 ноября 2002 г. в фильтре V.

Fig. 42. The image of the nebula around V838 Mon obtained on November 26, 2002 in the V band.

кости) свет распространился на 36" от звезды, что дает расстояние до V838 Mon 1.4 кпк.

Е.А. Барсукова, Н.В. Борисов совместно с В.П. Горанским, А.В. Кусакиным, Н.В. Метловой, С.Ю. Шугаровым (ГАИШ МГУ)

Опубликовано в Письмах в АЖ, 28, с.764, 2002; AIP Conf. Proc. 637, p.303, 2002

ТРЕХЛЕТНИЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ CI CAM

В результате трехлетнего спектрального мониторинга CI Cam, оптического компонента рентгеновского источника XTE J0421+560, после его мощной и короткой вспышки в апреле 1998 г. получено около двухсот спектров со средней дисперсией на 1–м и 6–м телескопах.

В спокойном состоянии после вспышки потоки CI Cam в бальмеровских и некоторых Fe II эмиссиях показывают циклические изменения с периодом 1100 ± 50 дней. Величина периода подтверждается данными UBVR–фотометрии, выполненной в ГАИШ МГУ (рис. 43, справа). Если этот период является следствием орбитального движения в широко разделенной системе (один из компонентов которой – звезда–гигант с эффектом отражения на поверхности, обращенной к другому, компактному, компоненту), то CI Cam можно отнести к классу symbB[e]–звезд.

Эквивалентные ширины и потоки в разных спектральных линиях показывают различные амплитуды изменения во время вспышки и существенные отличия поведения в спокойном состоянии (рис. 43, слева). Выявлены пять типов такого поведения и связь между амплитудой изменения потока в линиях и полным потенциалом возбуждения линий, что свидетельствует о стратификации газопылевой оболочки, ответственной за излучение в линиях. Обнаружена задержка роста интенсивности запрещенной линии азота [N II] на 50–250 дней относительно максимума рентгеновской вспышки. Robinson et al. (2002, A.J., v.565, p.1169) пересмотрели расстояние до CI Cam и дают для него оценку > 5 кпк. В таком случае CI Cam можно считать sgB[e]–звездой с наибольшей известной светимостью. Сценарий, согласно которому ком-

distance to V838 Mon was determined to be 1.4 kpc.

E.A. Barsukova, N.V. Borisov in collaboration with V.P. Goransky, A.V. Kusakin, N.V. Metlova S.Yu. Shugorov (SAI MSU)

Published in Pisma v AZh, 28, p.764, 2002; AIP Conf. Proc. 637, p.303, 2002

THREE-YEAR SPECTRAL MONITORING OF CI CAM

As a result of the three-year spectral monitoring of CI Cam, an optical component of the X–ray source XTE J0421+560, after its powerful and short burst in April 1998, about two hundred spectra were obtained with the 1 and 6 m telescopes of SAO.

In the quiet state after the burst the fluxes of CI Cam in Balmer and some Fe II emission lines show the cyclic variations with a period of 1100 ± 50 days. The period value is confirmed by the data of UBVR photometry performed in the SAI of MSU (Fig. 43, right). If this period is a consequence of orbital motion in a widely separated system (one component of which is a giant star with the reflection effect on the surface faced to another compact component), then CI Cam can be attributed to the class of symbB[e] stars.

Equivalent widths and fluxes in different spectral lines show different amplitudes of alteration during the burst and significant distinguishing features of the behavior in the quiet state (Fig. 43, left). We revealed five types of such behavior and the relation between the flux variation amplitude in lines and the total excitation potential of line, which points to stratification of gas–dust envelope responsible for the radiation in lines. A delay of 50–250 days in the increase of the forbidden nitrogen line [N II] intensity relative to the X–ray burst maximum was detected. Robinson et al. (2002, A.J., v.565, p.1169) have revised the distance to CI Cam and now they consider it to be > 5 kpc. In such a case CI Cam is a sgB[e] star with the highest known luminosity. The scenario in which the compact component travels in a wide orbit through a dense circumstellar envelope of a B[e] supergiant and

пактный компонент движется по широкой орбите через плотную околозвездную оболочку В[e]–сверхгиганта и мы иногда наблюдаем его рентгеновские вспышки, делает CI Cam уникальной среди известных рентгеновских двойных. Природа этой системы остается неизвестной и по-прежнему вызывает большой интерес исследователей.

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

sometimes we observe its X-ray bursts, makes CI Cam a unique object among the known X-ray binaries. The nature of this system remains unknown and still provokes great interest of researchers.

E.A. Barsukova and N.V. Borisov in collaboration with V.P. Goransky (SAI MSU)

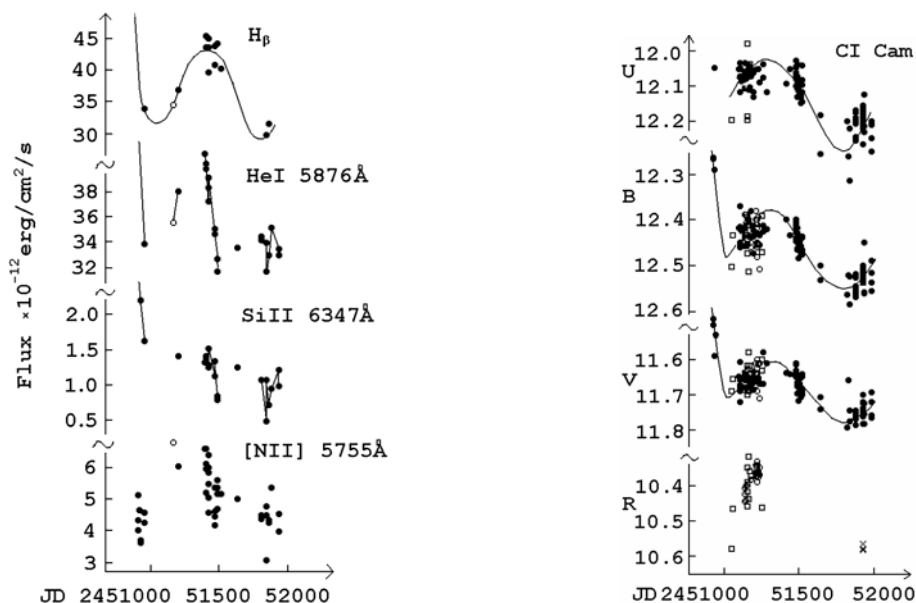


Рис. 43. Поток в эмиссионных линиях с различным временным спектральным поведением (слева) и кривая блеска CI Cam в полосах UBVR после вспышки 1 апреля 1998 года (справа).

Fig. 43. Fluxes in emission lines with different spectral behavior versus time (left) and the brightness curve of CI Cam in UBVR bands after the burst of April 1, 1998 (right).

ПОИСК ОПТИЧЕСКИХ ВСПЫШЕК В ОБЛАСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЯГКОГО РЕПИТЕРА SGR 1806–20

SEARCH FOR OPTICAL BURST IN THE REGION OF LOCATION OF THE SOFT REPEATER SGR 1806–20

В июне 2001 г. на борту HETE была зарегистрирована вспышечная активность SGR 1806–20. Обнаружены, по крайней мере, две вспышки длительностью 0.2–0.3 с. Были проведены наблюдения в первичном фокусе 6-м телескопа с помощью многоканального панорамного фотометра-поляриметра (МПФП) высокого временного разрешения и системы регистрации МАНИЯ через два дня после триггера HETE. Моменты прихода всех фотонов в поле размером 80"×75" регистрировались в течение 4500 с. в фильтре В с точностью 20 нс. Область была центрирована на положение радиоисточника. Пространственное разрешение во время наблюдений составляло 0.2". Выборки моментов регистрации фотонов, накопленные в 9 квадратных боксах размером 6.5"×6.5", обработаны с помощью программ ин-

An eruptive activity of SGR 1806–20 was recorded on board of HETE in June 2001. At least, two bursts lasting 0.2–0.3 s were detected. Observations were conducted with the multichannel panoramic photometer-polarimeter (MPPP) of high time resolution and the recording system MANIA 2 days after the HETE trigger. The moments of arrival of all photons in a field of 8"×75" in size were recorded during 4500 s in the B band with an accuracy of 20 ns. The region was centered on the radio position of the source. The spatial resolution during the observations was 0.2". The samples of the moments of recording photons accumulated in 9 square boxes 6.5"×6.5" in size were processed with the aid of the programs of interval analysis. No eruptive activity of SGR 1806-20 was detected in the optical range. A comparative analysis of parameters of gamma variability and constraints on optical

тервального анализа. Вспышечная активность SGR 1806–20 в оптическом диапазоне не обнаружена. Сравнительный анализ параметров гамма-переменности и ограничений для оптических вспышек позволит сделать выводы о возможной природе активности SGR 1806–20.

Г.М. Бескин, В.Г. Дебур, А.А. Панферов, И.П. Панферова, В.Л. Плохотниченко совместно с А. Позаненко, В. Лозниковым (ИКИ РАН); М. Боер, Ж.-Л. Аттейя, А. Клотц (CESR/CNRS, Тулуза, Франция); Г. Риккер (MIT, Бостон, США)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ, АККРЕЦИРУЮЩЕЙ НА НЕЙТРОННУЮ ЗВЕЗДУ В СИСТЕМЕ HZ HER

Источник информации о поведении плазмы и ее параметрах – временные характеристики периодических оптических импульсов, являющихся переработанным рентгеновским потоком аккрецирующего пульсара Her X–1 с периодом 1.24 сек. Направленное рентгеновское излучение пульсара сканирует плазму и нормальный компонент системы, после чего его можно зарегистрировать в разных участках оптического диапазона как пульсирующий сигнал с периодом, амплитудой, фазой и формой импульсов, зависящими от длины волны. Эти зависимости и определяются физическими условиями, структурой и динамикой аккрецирующей плазмы. Методы анализа многомерных временных рядов позволяют восстановить (с большей или меньшей точностью) общую картину процессов аккреции в пространстве и во времени. Следует отметить, что при решении обсуждаемой задачи необходимо получать данные с максимально высоким временным разрешением, соответствующим размерам и скоростям отдельных частей системы. Так, для обнаружения во временной области (по вариациям времен прихода импульсов) скоростей на уровне 100 км/сек (ширина отдельных узких эмиссий) необходимо временное разрешение лучше $\tau \sim 3 \cdot 10^{-4}$ с.

Спектроскопия высокого временного разрешения HZ Her была проведена в 2000–2001 гг. на 6-м телескопе с использованием ОЗСП (спектральное разрешение 20 Å/мм) и КЧД. Были получены спектры в диапазоне 4200–5300 Å с временным разрешением 1 мкс для разных фаз орбитального и 35-дневного периодов (рис. 44).

По наблюдениям 8.08.2000 получены ограничения для периодической компоненты излучения, связанной с преобразовавшимися в оптические импульсы рентгеновского пульсара с периодом 1.24 с. На этом периоде мощность вариаций блеска в спектральном диапазоне 4300–5300 Å оказалась меньше 0.5 % (уровень значимости 1 %). В период наблюдения фаза орбитального периода составля-

bursts will allow conclusions to be drawn concerning possible nature of SGR 1806–20 activity.

G.M. Beskin, V.G. Debur, A.A. Panferov, I.P. Panferova, V.L. Plokhotnichenko in collaboration with A. Pozanenko, V. Loznikov (ICI RAS), M. Boe, J.-L. Atteia, A. Klotz (CESR/CNRS, Toulouse, France), G. Ricker (MIT, Boston, USA)

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND DYNAMICS OF PLASMA ACCRETED ONTO THE NEUTRON STAR IN THE SYSTEM HZ HER

The source of data on the behavior of plasma and on its parameters is the time characteristics of periodic optical pulses which are the reprocessed X-ray flux of the accreting pulsar Her X–1 with a period of 1.24 s. The beamed X-ray radiation of the pulsar scans the plasma and the normal component of the system, and after that can be recorded in different parts of the optical range as a pulsating signal whose period, amplitude, shape of pulses depend on wavelength. These relationships are defined by the physical conditions, structure and dynamics of the accreting plasma. The methods of analysis of multidimensional time series make it possible to reconstruct (with a higher or lower accuracy) the general picture of the accretion processes in space and time. It should be noted that in solving the discussed problem it is necessary to obtain data with the highest possible time resolution corresponding to the dimensions and velocities of individual parts of the system. For example, for the detection in the time region (from variations in the moments of arrival of pulses) of velocities at a level of 100 km/s (the width of individual narrow emission lines), a time resolution better than $\tau \sim 3 \cdot 10^{-4}$ s is needed.

High time resolution spectroscopy of HZ Her was performed at the 6 m telescope with the MSS (the spectral resolution 20 Å/mm) and the CSD in 2000–2001. Spectra were obtained in the range 4200–5300 Å with a time resolution of 1 μs for different phases of the orbital period and 35-day period (Fig. 44).

Based on the 2000 August 8 observations, constraints were derived on the periodic component of the radiation associated with the pulses of the X-ray pulsar with a period of 1.24 s, which were converted to the optical range. The power of the brightness variations in this period within the spectral range 4300–5300 Å turned out to be less than 0.5% (at the 1% significance level). During the observations the

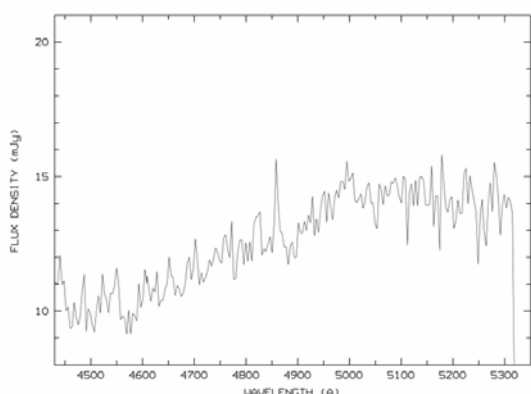


Рис. 44. Спектр HZ Her (Her X-1), полученный 8 августа 2000 г. на БТА с ОЗСП+КЧД. Длительность экспозиции – 30 минут, орбитальная фаза – 0.44 (диск открыт), фаза 35-дневной переменности – 0.42 (рентгеновский пульсар выключен).

Fig.44. The spectrum of HZ Her (Her X-1) obtained at BTA with the MSS+CSD on 2000 August 8. The exposure is 30 minutes, the orbital phase is 0.44 (the disk is open), the phase of the 35-day variability is 0.42 (the X-ray pulsar is “off”).

составляла 0.44, т.е. и диск, и обращенная к нему полусфера нормального компаньона были видны и, следовательно, преобразованные рентгеновские импульсы могли регистрироваться. В то же время фаза 35-дневного периода составляла 0.42, т.е. рентгеновский пульсар был “выключен”. Поскольку оптические импульсы не наблюдались, с большой вероятностью можно предположить, что “выключение” пульсара обусловлено физическими причинами – прекращением собственно аккреции на нейтронную звезду, а не экранированием области генерации рентгеновского излучения аккрецирующей плазмой.

Г.М. Бескин, В.Г. Дебур, А.А. Панферов, И.П. Панферова, В.Е. Панчук, В.Л. Плохотниченко

ПАНОРАМНАЯ МНОГОПОЛОСНАЯ ФОТОМЕТРИЯ ВЫСОКОГО ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПУЛЬСАРА NP 0532+21.

Были построены сфазированные кривые блеска пульсара NP 0532+21 в B, V, R полосах. При этом учитывались с помощью опорного генератора высокой частоты вариации моментов прихода отдельных фотонов объекта, связанные с эволюцией периода пульсара и его первой производной. Точность фазировки кривых блеска была не хуже 10 мкс. Экстракция независимо определенного в разных полосах фона туманности позволила построить кривые изменения с фазой периода собственного излучения пульсара. На рис. 45а показаны интегральные изображения пульсара и соседней звезды, полученные в течение главного пульса излучения, межпульсного промежутка, вторичного пульса и внепульсного интервала. Главной проблемой здесь был учет неоднородности зависящей от длины волны яркости Крабовидной туманности. Ее поток составляет до 30% от полной интенсивности излучения пульсара внутри области размером около 3" (размер изображений звезд в период наблюдений). Фон туманности интерполировался двухмерными полиномами высокой степени. Профиль яркости звезд

phase of the orbital period was 0.44, i.e. both the disk and the hemisphere of the normal component facing the disk were visible and consequently the converted X-ray pulses could be recorded. At the same time, the phase of the 35-day period was 0.42, that is the X-ray pulsar was “off”. Since optical pulses were not observed, one may assume with high degree of probability that the “switching off” of the pulsar is due to physical reasons – the cessation of accretion onto the neutron star, but not the screening of the region of the X-ray radiation generation by the accreting plasma.

G.M. Beskin, V.G. Debur, A.A. Panferov, I.P. Panferova, V.E. Panchuk, V.L. Plokhotnichenko

HIGH TIME RESOLUTION PANORAMIC MULTIBAND PHOTOMETRY OF THE PULSAR NP 0532+21

Phased light curves of the pulsar NP 0532+21 in the B, V, R bands were plotted. With the aid of a reference high frequency generator, variations of the moments of arrival of individual photons of the object associated with the evolution of the pulsar period and its first derivative were taken into account. The phasing accuracy of the light curves was no worse than 10 μ s. The extraction of the background of the nebula determined independently in different bands permitted us to plot the curves of variations with the phase of the period of the proper radiation of the pulsar. In Fig. 45a the integral image of the pulsar and of the neighboring star obtained during the main pulse of radiation, the interval between the pulses, the secondary pulse and the off-pulse interval are shown. Here the main problem was taking into account the inhomogeneity depending on the wavelength of the Crab nebula brightness. Its flux is up to 30% of the total intensity of radiation of the pulsar inside a region of about 3" (seeing during the observations). The background of the nebula was interpolated by two-dimensional high-degree polynomials. The brightness profile of the neighboring star, whose

ды–соседки, блеск которой на величину превышает блеск пульсара, использовался в качестве опорного. В рамках развитого алгоритма учитывались и неоднородности чувствительности координатно–чувствительного детектора фотонов как на больших (вплоть до 1'), так и на малых масштабах (2–3") с помощью равномерной засветки поля зрения детектора. В конечном итоге была получена детальная двухмерная картина распределения яркости туманности в окрестности пульсара, что позволило определить уровень ее излучения и в области его непосредственной локализации.

Были определены (B–V) и (V–R) цвета излучения пульсара в семи фазовых интервалах. Это передний фронт главного импульса, пик главного импульса, задний фронт главного импульса, межпульсный промежуток, передний фронт вторичного импульса, пик вторичного импульса, задний фронт вторичного импульса, внеимпульсное пространство. Самым важным представлялось определение характеристик последнего. Они оказались такими: $B = 21.6 \pm 0.4^m$; $V = 20.85 \pm 0.15^m$; $R = 20.1 \pm 0.15^m$. Для сравнения приведем усредненные по периоду звездные величины объекта: $B = 17.4^m$; $V = 16.8^m$; $R = 16.3^m$. Результаты фотометрии свидетельствуют, что диаграмма направленности пульсара несколько уширяется с ростом длины волны, а спектр излучения во внеимпульсном пространстве оказывается более крутым, чем в других фазовых промежутках (рис. 45b).

Г.М. Бескин, В.Г. Дебур, А.А. Панферов, И.П. Панферова, В.Л. Плохотниченко

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ОДИНОЧНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР

Проведен анализ существующих данных о массах возможных черных дыр и скоростях их движения в сопоставлении со структурой межзвездной среды. Показано, что в подавляющей части галактики (>90% объема) темп аккреции $\dot{m}' = M' \cdot c^2 / L_{\text{edd}}$ не может превышать $10^{-6} - 10^{-7}$. При этом черные дыры, как правило, движутся со сверхзвуковыми скоростями (число Маха – 2–3). Лишь в холодных облаках межзвездного водорода ($n \sim 10^2 - 10^5$, $T \sim 10^2$) при малых скоростях движения (< 10 км/с) темпы аккреции будут велики – светимость черных дыр может достигать $10^{38} - 10^{40}$ эрг/с. Для типичных в межзвездной среде масштабов и величин неоднородностей плотности и скорости аккреция практически всегда будет сферической. Это противоречит исходным предположениям, выдвинутым в работах, в которых рассматривается дисковая аккреция на одиночные черные дыры. Детально рассмотрен процесс адиабатического нагрева аккрецирующей на черную дыру плазмы с замороженным магнитным полем. Плазма изначально яв-

brightness is a magnitude higher than that of the pulsar, was used as a reference profile. Within the framework of the developed algorithm the inhomogeneities of the coordinate sensitive photon detector were also taken into account both on large (up to 1') and on small (2–3") scales with the aid of uniform illumination of the field of view of the detector. In the end, a detailed two-dimensional pattern of the brightness distribution of the nebula in the neighborhood of the pulsar was derived, which made it possible to determine the level of its radiation in the region of location of the pulsar.

In seven phase intervals the (B–V) and (V–R) colors of the pulsar radiation were determined. These are the forefront of the main pulse, the peak of the main pulse, the backfront of the main pulse, the interval between pulses, the forefront of the secondary pulse, the peak of the secondary pulse, the backfront of the secondary pulse, the off–pulse space. It seemed to be the most important to determine characteristics of the latter. They proved to be $B = 21.6 \pm 0.4^m$; $V = 20.85 \pm 0.15^m$; $R = 20.1 \pm 0.15^m$. The stellar magnitudes of the object averaged over the period: $B = 17.4^m$; $V = 16.8^m$; $R = 16.3^m$ are given for comparison. The results of photometry suggest that the beam pattern of the pulsar becomes somewhat wider as the wavelength increases, and the emission spectrum turns out to be steeper in the off–pulse space than in other phase intervals (Fig. 45b).

G.M. Beskin, V.G. Debur, A.A. Panferov, I.P. Panferova, V.L. Plokhotnichenko

THEORETICAL INVESTIGATION OF OBSERVATIONAL APPEARANCE OF SINGLE BLACK HOLES

An analysis of the available data on the masses of possible black holes and on the velocities of their motion in comparison with the structure of the interstellar medium was performed. The accretion rate $\dot{m}' = M' \cdot c^2 / L_{\text{edd}}$ is shown to be not higher than $10^{-6} - 10^{-7}$ in the greater part of the galaxy (>90% of the volume). As a rule, black holes move at supersonic speeds (the Mach number is 2–3). Only in cold clouds of interstellar hydrogen ($n \sim 10^2 - 10^5$, $T \sim 10^2$) at low velocities (< 10 km/s) the accretion rates will be high – the luminosities of black holes there may reach $10^{38} - 10^{40}$ erg/s. For the scales and the values of density and velocity inhomogeneities typical for the interstellar medium, the accretion will practically always (except for a black hole in a molecular cloud) be spherical. This inference is clearly at variance with the original assumptions of some latest papers in which disk accretion onto single black holes is considered. The process of adiabatic heating of plasma with a frozen-in magnetic field accreting onto a black hole was examined in details. Initially plasma is a collisionless

medium, it remains the

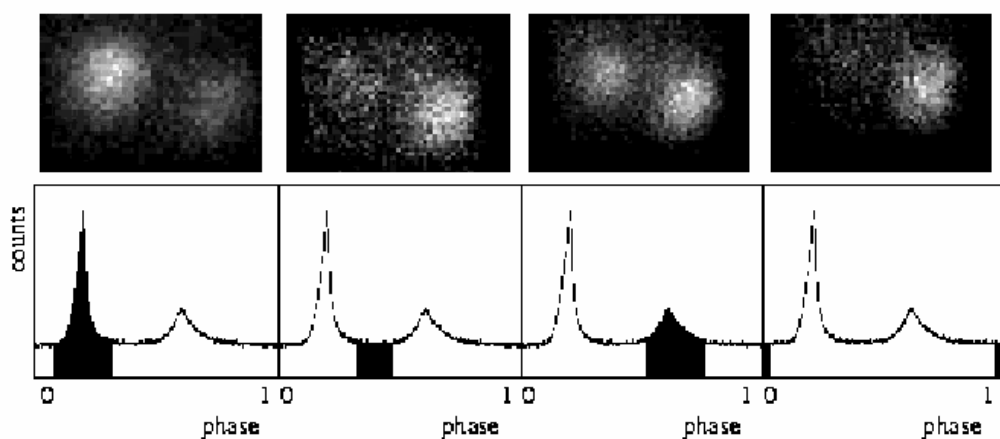


Рис. 45а. Изображения пульсара в Крабе для разных фаз его кривой блеска в полосе В.

Fig. 45a: The image of the pulsar in Crab for different phases of its light curve in the B band.

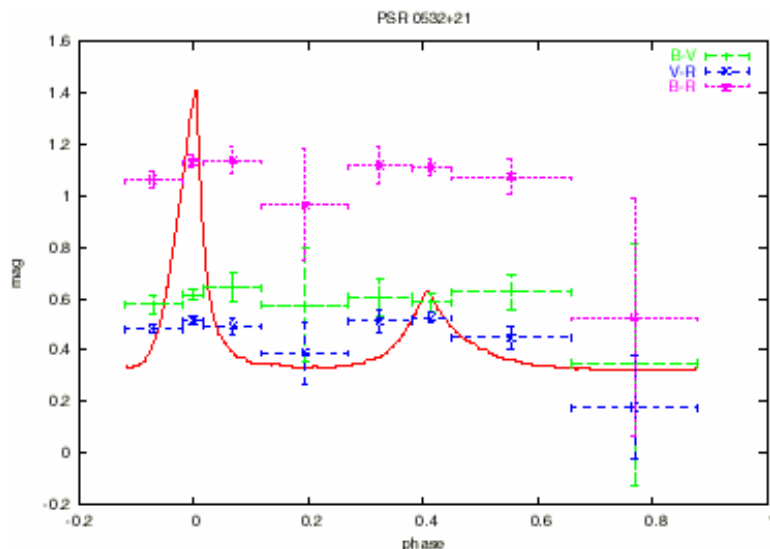


Рис. 45b. Изменение цвета пульсара в Крабе, в зависимости от фазы периода.

Fig. 45b: The measured colors of the pulsar in Crab depending on the period phase

является бесстолкновительной средой, таковой и остается вплоть до горизонта событий. Только замагниченность вещества позволяет рассматривать процесс аккреции как квазигазодинамический. Магнитное поле в силу постоянства r^2/H эффективно “запирает” частицы в “ящик” переменного размера, что позволяет говорить об их адиабатическом нагреве при падении. Для замагниченного вещества такой нагрев на 25% эффективнее, чем при аккреции идеального газа. Температура с уменьшением радиуса растет значительно быстрее, электроны значительно раньше становятся релятивистскими, и аккреционный поток оказывается существенно более горячим, чем предсказывалось ранее.

Был рассмотрен процесс диссипации в потоке избыточной магнитной энергии из-за конверсии

same to the horizon of events. It is only the magnetic fields contained in matter that allows the accretion process to be treated as quasigas–dynamic. Due to the conservation of the adiabatic invariant p^2/H , the magnetic field “locks up” the particles in a “box” of variable size, which suggests their adiabatic heating during accretion. Such heating for magnetized matter is by 25% more efficient than in accretion of ideal gas. Correspondingly, as the radius decreased the temperature rises much faster, the electrons become relativistic considerably earlier, and the accretion flow turns out to be appreciably hotter than it was predicted earlier.

The process of dissipation in the flow of the excess magnetic energy caused by the magnetic energy con-

магнитной энергии в турбулентных токовых слоях. При этом возбуждаются различные моды плазменных колебаний, происходит перезамыкание магнитных силовых линий, выбрасываемых вместе с плазмой из токового слоя, и ускоряются электроны. Пучки ускоренных электронов, высвечивая свою энергию при движении в магнитном поле, генерируют дополнительную по отношению к стандартному тепловому синхротронному излучению нетепловую компоненту. Поскольку они имеют степенное распределение по энергиям, сдвинутое по отношению к максвелловскому распределению фоновых частиц в сторону больших гамма-факторов, пучки порождают жесткое излучение с плоским спектром вплоть до гамма диапазона.

Важной особенностью нетеплового излучения является его вспышечный характер — электроны выбрасываются отдельными порциями. Были построены типичные кривые блеска таких вспышек. Имеется стадия резкого возрастания их интенсивности при приближении пучка к горизонту событий. Параметры этих всплесков могут содержать информацию о структуре пространства–времени в непосредственной окрестности горизонта событий черной дыры.

Г.Б. Бескин совместно с С. Карповым (МГУ)

ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ В ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ, КАК СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ОБЪЕКТОВ

Полностью завершено рассмотрение эффекта и проанализирована стратегия его обнаружения. Последняя базируется на современных параметрах Слоановского обзора и возможных характеристиках телескопов ближайшего будущего (DMT, LAMOST, VISTA). При оценке вероятности обнаружения эффекта учтены распределение поглощающего вещества и распределение пар в Галактике. Было получено, что оптимальное время экспозиции одного поля размером $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ при поиске пар белых карликов составляет 6–7 ночей, а при поиске пар, состоящих из белого карлика и черной дыры или нейтронной звезды, — около одной ночи. В конечном итоге, за 5 лет мониторинга можно обнаружить с помощью эффекта гравлинзирования от 15 до 50 пар компактных объектов.

Г.М. Бескин совместно с А. Тунцовым (МГУ)

conversion in turbulent current sheets was considered. In addition different modes of plasma oscillations are excited, reconnection of magnetic force lines occurs which are ejected from the current sheet collaboration with plasma, and the electrons are accelerated. The last phenomenon appears to be of prime importance from the point of view of observational evidence of the accretion flow. The beams of accelerated electrons emit their energy when moving in the magnetic field and generate a non-thermal additional component with respect to the standard thermal synchrotron radiation. Since they have the exponential energy distribution shifted relative to the Maxwell distribution of background particles towards large gamma factors, the beams give rise to hard radiation with a flat spectrum up to the gamma range.

An important distinguishing feature of the non-thermal radiation is its flashing character: the electrons are ejected in a discrete manner (by individual portions). Typical light curves of such outbursts were derived. There are stages of abrupt increase in their intensity as the beam approaches the horizon of events. The parameters of these outbursts may contain information about the structure of space–time in the immediate vicinity of the event horizon of the black hole.

G.M. Beskin in collaboration with S. Karpov (MSU).

GRAVITATION LENSING IN BINARY SYSTEMS AS A MEANS OF DETECTION OF RELATIVISTIC OBJECTS

The study of the effect of gravitational lensing was completed and the strategy of its detection was analyzed. The latter is based on the present-day parameter of the Sloan DSS and possible characteristics of telescopes of the nearest future (DMT, LAMOST, VISTA). When estimating the probabilities of detection of the effect, the distribution of absorbing matter and the distribution of pairs in the Galaxy were allowed for. The optimum exposure time of one field of $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ in size was 6–7 nights, whereas in searching for pairs consisting of a white dwarf and a black hole or a neutron star it was about one night. In the end, during a five-year monitoring, using the effect of gravitation lensing, one can detect from 15 to 50 pairs of compact objects.

G.M. Beskin in collaboration with A. Tuntsov (MSU).