

## ИССЛЕДОВАНИЯ В ОПТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

### ВНЕГАЛАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

#### НЕДОСТАТОК МАССИВНЫХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК В МЕСТНОМ ОБЪЕМЕ

Выборка примерно 750 галактик Местного Объема (с расстояниями до 10 Мпк) дает уникальную возможность изучать свойства галактик вплоть до наиболее слабых объектов: абсолютная звездная величина  $M_B \approx -10$  и вириальная масса  $M_{vir} \approx 10^9 M_\odot$ . Было обнаружено, что стандартная  $\Lambda$ CDM модель чрезвычайно точно описывает функцию распределения круговых скоростей галактик для массивных объектов ( $V_{circ} \geq 70$  км/с и  $M_{vir} \geq 5 \cdot 10^{10} M_\odot$ ), но завышает в 5 раз количество карликовых галактик с круговыми скоростями  $V_{circ} \sim 30-40$  км/с (см. рис. 15). Столь большой избыток предсказанных крупных карликовых галактик с массами  $M_{vir} \approx 10^{10} M_\odot$  в поле создает сложную проблему: чтобы оказаться потерянными, эти галактики должны быть экстремально низкой поверхностной яркости, без звездообразования и нейтрального водорода. К настоящему моменту не обнаружено ни одной подобной галактики.

*И.Д. Караченцев, Д.И. Макаров, О.Г. Насонова, А.А. Клыпин. MNRAS, 454, 1798 (2015). Материал опубликован в годовом отчете РАН.*

#### ОТКРЫТИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНО ИЗОЛИРОВАННОЙ КАРЛИКОВОЙ ГАЛАКТИКИ

На 10-метровом телескопе SALT (Southern African Large Telescope) измерена лучевая скорость шарового скопления в центре южной карликовой галактики KKs3: +112 км/с. Используя данные с камеры ACS (Advanced Camera for Surveys) космического телескопа Хаббла, проведена оценка расстояния по вершине ветви красных гигантов:  $2.12 \pm 0.07$  Мпк. Печулярная скорость галактики относительно местного хаббловского потока составляет  $-45$  км/с. Анализ печулярных скоростей 35 самых близких карликовых галактик поля (см. рис. 16) не обнаружил признаков сжатия местного «блина» из-за расширения местного войда. Галактика хорошо разрешается на отдельные звезды, что позволило промоделировать ее историю звездообразования. Согласно модели, 74% звезд KKs3 образовалось более 12 млрд лет назад, а общая масса звезд составляет  $2.3 \times 10^7 M_\odot$ .

*И.Д. Караченцев, Л.Н. Макарова, Д.И. Макаров, Р.Б. Талли, Л. Риззи. MNRAS, 447L, 85 (2015).*

## INVESTIGATIONS IN THE OPTICAL SECTOR

### EXTRAGALACTIC ASTRONOMY

#### LACK OF MASSIVE DWARF GALAXIES IN THE LOCAL VOLUME

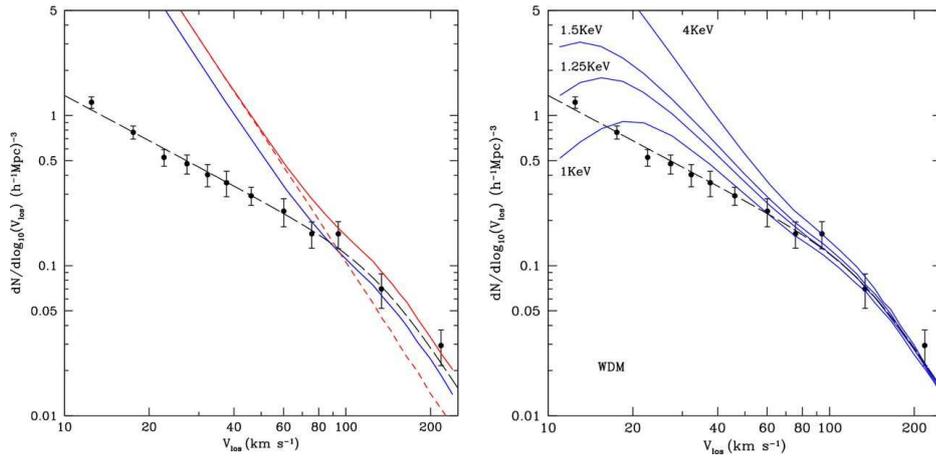
A sample of about 750 galaxies of the Local Volume (with the distance less than 10 Mpc) gives us a unique opportunity to study galaxy properties up to the faintest objects: the absolute stellar magnitude  $M_B \approx -10$  and virial mass  $M_{vir} \approx 10^9 M_\odot$ . It was found that the standard  $\Lambda$ CDM model describes perfectly well the distribution function of circular velocities for massive galaxies ( $V_{circ} \geq 70$  km/s and  $M_{vir} \geq 5 \cdot 10^{10} M_\odot$ ), but it overestimates the number of dwarf galaxies with circular velocities  $V_{circ} \sim 30-40$  km/s by a factor of five (see Fig. 15). So large excess of predicted large dwarf galaxies of masses of  $M_{vir} \approx 10^{10} M_\odot$  in the field makes a complicated problem: to be lost, these galaxies must have the extremely low surface brightness, without star formation and without neutral hydrogen. By now no such a galaxy was detected.

*I.D. Karachentsev, D.I. Makarov, O.G. Nasonova, A.A. Klypin. MNRAS, 454, 1798 (2015). The material was published in the RAS's annual report.*

#### DETECTION OF AN EXTREMELY ISOLATED DWARF GALAXY

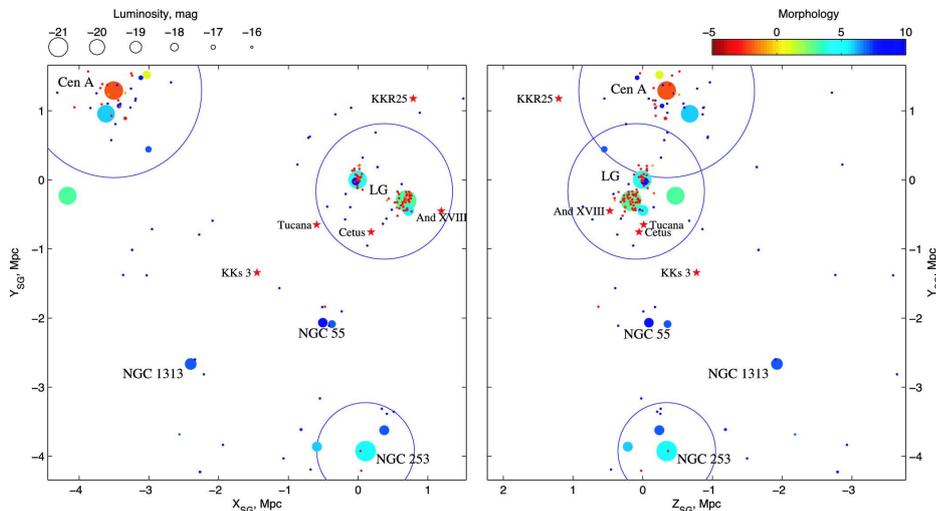
The 10-m Southern African Large Telescope (SALT) was used to measure the radial velocity of a globular cluster in the center of the southern dwarf galaxy KKs3: +112 km/s. The distance was estimated by the top of the red-giant branch using the Advanced Camera for Surveys (ACS) of the Hubble Space Telescope:  $2.12 \pm 0.07$  Mpc. The peculiar velocity of the galaxy relative to the local Hubble flux is  $-45$  km/s. Analysis of peculiar velocities of 35 nearest field galaxies (see Fig. 16) did not reveal signs of contraction of the local “pancake” due to expansion of the local void. The galaxy is well resolved into stars, which allowed us modeling its star formation history. According to the model, 74% of KKs3 stars formed 12 billion years ago, and the total mass of stars is  $2.3 \times 10^7 M_\odot$ .

*I.D. Karachentsev, L.N. Makarova, D.I. Makarov, R.B. Tully, L. Rizzi. MNRAS, 447L, 85 (2015).*



**Рис. 15:** Сравнение распределения круговых скоростей галактик Местного Объема с теоретическими предсказаниями моделей для холодного темного вещества ( $\Lambda\text{CDM}$ ), слева, и для теплого темного вещества (WDM), справа. Черные точки и черная штриховая линия показывают наблюдательную функцию скоростей для выборки галактик внутри 10 Мпк. Слева сплошными цветными линиями показаны теоретические  $\Lambda\text{CDM}$ -предсказания с космологическими параметрами Planck (красная линия) и WMAP7 (синяя кривая). Красная штриховая линия показывает предсказания модели только с темной материей без учета вклада барионов. Повышенная масса барионов в центрах гало приводит к увеличению круговой скорости галактик.

**Fig. 15:** Comparison of distribution of circular velocity of Local Volume galaxies with the theoretical prediction of models for cold dark matter ( $\Lambda\text{CDM}$ ) (left) and for worm dark matter (WDM) (right). The black dots and the black dashed line show the observational velocity function for a sample of galaxies inside 10 Mpc. On the left, the solid color lines show the theoretical  $\Lambda\text{CDM}$  predictions with cosmological parameters by Planck (the red line) and WMAP7 (the blue curve). The red dashed line shows the prediction of the model only with dark matter without considering contribution of baryons. The heightened mass of baryons in halo centers leads to the increase of circular velocity of galaxies.



**Рис. 16:** Пейзаж соседних галактик вокруг KKs 3. Цвет и размер кружков обозначают морфологический тип и светимость галактики в соответствии с заданными масштабами. Три круга вокруг массивных групп галактик: Местной группы, группы вокруг NGC 5128 (Cen A) и NGC 253, очерчивают сферы гравитационного доминирования этих групп, отделяющие их от глобального космологического расширения. Красными звездами показаны пять карликовых сфероидальных галактик, которые в той или иной степени являются изолированными системами.

**Fig. 16:** The view of neighbor galaxies around KKs 3. The color and size of circles denote the morphological type and luminosity of galaxies according to given scales. Three circles around massive galaxy groups — the Local group, the groups around NGC 5128 (Cen A) and NGC 253 — outline the spheres of gravitational dominance of these groups, separating them from the global cosmological expansion. The red asterisks show five dwarf spheroidal galaxies, which are isolated systems to a greater or lesser degree.

## ПОИСКИ НОВЫХ КАРЛИКОВЫХ СПУТНИКОВ

Проведены поиски новых карликовых спутников вокруг 13 массивных спиральных галактик Местного объема по многочасовым снимкам на телескопах малого размера. Обнаружено 27 кандидатов в карликовые системы низкой и очень низкой поверхностной яркости. Спектральные наблюдения на БТА двух кандидатов подтвердили их физическую связь с массивными спиральями.

По наблюдениям на индийском радиотелескопе GMRT исследовано распределение нейтрального водорода и поле лучевых скоростей у изолированной карликовой галактики Andromeda-IV, 90% барионной массы которой пребывает в газообразном состоянии. Отмечено, что модифицированная теория гравитации MOND не согласуется с данными о кривой вращения этой галактики.

*И.Д. Караченцев и др. Ast.Bull., 70 (4), 379 (2015).*

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАРЛИКОВЫХ СПУТНИКОВ

С использованием новых и прежних наблюдений на радиотелескопе GMRT впервые исследовано распределение холодной компоненты нейтрального водорода по дискам 62 карликовых галактик Местного объема. По наблюдениям на 300-м радиотелескопе Аrecibo исследовано распределение карликовых спутников вокруг изолированных галактик NGC 1156, NGC 5523 и UGC 2082. Отмечено, что число обнаруженных новых спутников существенно меньше ожидаемого при стандартной функции HI-масс галактик.

*И.Д. Караченцев и др. arXiv 1510.08715 (2015).*

## ГАЛАКТИКИ ВОЙДА LYNX-CANCER

Проведены наблюдения на БТА и получены новые данные по металличности газа (O/H) в 28 галактиках близкого войда Lynx-Cancer. По результатам анализа всех накопленных данных по O/H для 75% галактик этого войда (более 100) и сравнения с аналогичными данными для реперной выборки галактик из более плотного окружения сделан вывод о том, что галактики войда имеют пониженную металличность, в среднем на 40%, а небольшая часть ( $\sim 1/10$  часть выборки), в основном маломассивные LSB карлики, имеют дефицит металлов до 2–4 раз. С учетом высокой массовой доли газа в них, этот факт указывает на их вероятное позднее формирование. В целом галактики войда эволюционируют заметно медленнее, чем их аналоги в нормальных группах Местного Объем.

*С.А. Пустильник, Ю.А. Перепелицына, А.Ю. Князев. MNRAS, 448, 1634 (2015).*

## SEARCH FOR NEW DWARF SATELLITES

New dwarf satellites were looked for around 13 massive spiral galaxies of the Local Volume in many-hours images from small telescopes. Twenty-seven low and very low surface brightness dwarf system candidates were detected. Spectroscopic BTA observations confirmed their physical relation to massive spirals.

Observations with the the Indian Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT) were used to study the distribution of neutral hydrogen and the radial velocity field in the isolated dwarf galaxy Andromeda-IV; 90% of its barion mass is in the gaseous state. It was noted that the modified Newtonian dynamics (MOND) does not agree with the rotation curve of this galaxy.

*I.D. Karachentsev et al. Ast.Bull., 70 (4), 379 (2015).*

## DISTRIBUTION OF DWARF SATELLITES

New and previous GMRT observations were used to study for the first time the distribution of the cold component of neutral hydrogen over disks of 62 dwarf galaxies of the Local Volume. Using the observations with the 300-m Arecibo radio telescope, we studied the distribution of dwarf satellites around the isolated galaxies NGC 1156, NGC 5523, and UGC 2082. It was noted that the number of new detected satellites is considerably less than could be expected for the standard HI mass function of the galaxies.

*I.D. Karachentsev et al. arXiv 1510.08715 (2015).*

## GALAXIES AROUND THE LYNX-CANCER VOID

New data on gas metallicity (O/H) in 28 galaxies of the nearby Lynx-Cancer void were obtained from BTA observations. From analysis of all accumulated data on O/H for 75% of galaxies of this void (more than 100) and comparison with analogous data for a reference sample of galaxies in a denser environment, it was concluded that the metallicity of void galaxies is lowered by 40% on average, and a small part ( $\sim 1/10$ ) of the sample galaxies, mostly the low-massive LSB dwarfs, has metal deficit up to 2–4 times. Allowing for their high mass fraction of gas, this fact points their probable late formation. On the whole, the void galaxies evolve noticeably slower than their analogs in normal groups of the Local Volume.

*S.A. Pustilnik, Yu.A. Perepelitsyna, A.Yu. Knyazev. MNRAS, 448, 1634 (2015).*

## ИСТОРИЯ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ АНДРОМЕДЫ XVIII

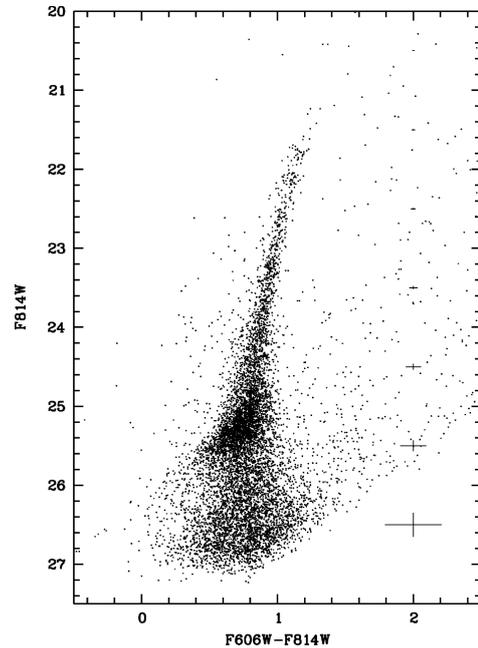
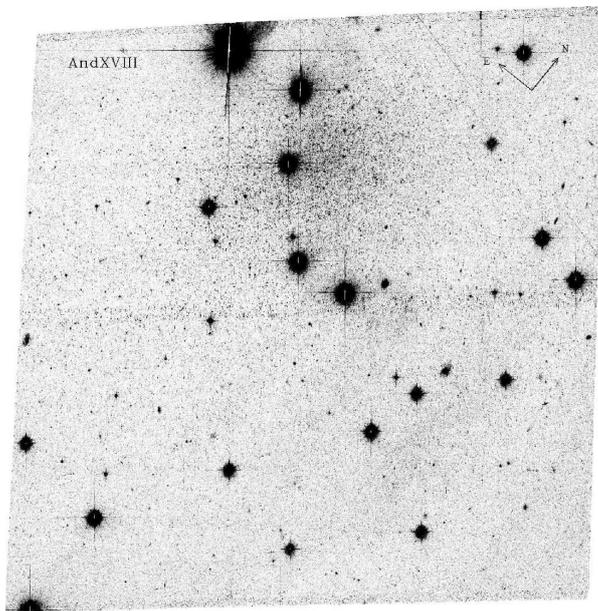
Андромеда XVIII — карликовая сфероидальная галактика, соотносимая с гигантской спиралью М31 и расположенная за пределами вириального радиуса группы спутников М31. Галактика была разрешена на отдельные звезды с помощью телескопа «Хаббл» (HST/ACS), включая старые звезды ветви красных гигантов и красного сгущения. На основе этих новых наблюдательных данных (см. рис. 17), используя вершину ветви красных гигантов было определено расстояние до Андромеды XVIII,  $d = 1.33_{-0.09}^{+0.06}$  Мпк. Таким образом, эта карликовая галактика расположена на расстоянии около 600 кпк от М31. Количественное моделирование истории звездообразования Андромеды XVIII показывает, что 34% звезд галактики образовалось более 12 млрд лет назад, а оставшиеся 66% являются звездами среднего возраста — от 8 до 1.5 млрд лет. Исследования подтверждают, что галактика Андромеда XVIII действительно относится к редкому типу изолированных карликовых сфероидальных.

*Л.Н. Макарова, Д.И. Макаров, И.Д. Караченцев, Р.Б. Талли, Л. Рицци. MNRAS (2016, в печати).*

## HISTORY OF STAR FORMATION IN ANDROMEDA XVIII

Andromeda XVIII is a dwarf spheroidal galaxy associated with the giant spiral M31 and located outside the virial radius of the group of M31 satellites. The galaxy was resolved into individual stars with the Hubble Space Telescope (HST/ACS), including old stars of the red-giant branch and red concentration. On the basis of these new observations (see Fig. 17), using the top of the red-giant branch, the distance to Andromeda XVIII was determined as  $d = 1.33_{-0.09}^{+0.06}$  Mpc. Thus, this dwarf galaxy is at a distance near 600 kpc from M31. The quantitative modeling of Andromeda XVIII star-forming history shows that 34% of galaxy stars formed more than 12 billion years ago, and the rest 66% are stars of “middle age” from 8 to 1.5 billion years. The study confirms that the galaxy Andromeda XVIII does belong to a rare type of isolated dwarf spheroidal galaxies.

*L.N. Makarova, D.I. Makarov, I.D. Karachentsev, R.B. Tully, L. Rizzi. MNRAS (2016, in print).*



**Рис. 17:** Изображение галактики And XVIII, полученное на космическом телескопе Хаббла (слева). На диаграмме цвет–звездная величина звездного населения галактики And XVIII (справа) четко выделяются звезды ветви красных гигантов и красного сгущения.

**Fig. 17:** The And XVIII galaxy image obtained with the Hubble Space Telescope (left). In the color–stellar magnitude diagram of the stellar population of And XVIII (right) the stars of the red-giant branch and the red crowding are clearly distinguished.

### СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РАДИОГАЛАКТИКИ 3С390.3

Получены оценки параметров поляризации радио-галактики 3С390.3: значения параметров Стокса, степени линейной поляризации, позиционный угол плоскости поляризации, поток в континууме и смещение широкой компоненты  $H\beta$  в поляризованном свете относительно системной скорости ( $V_{sys} - V_{pol}$ ). Найдено, что в течение пятилетнего мониторингового периода поляризационные параметры широких линий и континуума значительно изменялись. Предложена модель, в которой наблюдаемая поляризация в континууме есть результат векторного сложения поляризации диска, меняющейся медленно и направление которой приблизительно совпадает с направлением джета, и быстроменяющейся поляризации, обусловленной синхротронным излучением джета, вектор поляризации которого приблизительно перпендикулярен направлению джета. Показано, что наблюдаемая деполаризация в линии  $H\alpha$  обусловлена теплым газом области широких линий (BLR),двигающимся по оси диска в направлении наблюдателя со скоростью 1200 км/с.

*В.Л. Афанасьев, А.И. Шаповалова, Л. Попович, Н.А. Борисов. MNRAS, 448, 2879–2889 (2015).*

### НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МАСС ЧЕРНЫХ ДЫР АЯГ

Реализован прямой метод определения масс черных дыр АЯГ, основанный на наблюдаемой зависимости угла плоскости поляризации от скорости в широких линиях области BLR. Проведена проверка путем численного моделирования методом Монте–Карло с использованием пакета STOKES. Показано, что методика дает правильные (в динамическом смысле) оценки масс, не зависящие от угла наклона галактики к лучу зрения.

*В.Л. Афанасьев, Л. Попович. AJL, 800 (2), L35 (2015).*

### ПЕРВЫЙ МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ КВАЗАРА E1821+643

Выполнен анализ результатов первого долговременного (1990–2014 гг.) фотометрического (в полосах B, V и R) и спектрального (в области 4000–7500 Å) мониторинга кандидата в двойную черную дыру QSO E1821+643, близкого ( $z = 0.2972$ ) радиоспокойного квазара высокой светимости. Методами кросс-корреляции получено, что время запаздывания между континуумом и линиями  $H\alpha$  составляет 120 и 60 дней соответственно, а между континуумом на 4200 Å и на 5100 Å —  $\sim 2$ –6 дней. Континуум и  $H\alpha$  потоки изменялись в  $\sim 2$  раза, в то время как  $H\alpha$  потоки — в  $\sim 1.4$  раза.

### SPECTROPOLARIMETRIC MONITORING OF THE RADIO GALAXY 3C390.3

The polarization parameters of the radio galaxy 3C390.3 were obtained: the Stokes parameters, degree of linear polarization, position angle of the polarization plane, continuum flux and the shift of the  $H\beta$  broad component in polarized light relative to the system velocity. It was found that during the five-year monitoring period, the polarization parameters of broad lines and continuum had been changing considerably. A model was suggested in which the observed continuum polarization is a result of vector addition of the disk polarization, which changes slowly and whose direction approximately coincides with the jet direction, and the quick changing polarization caused by the synchrotron radiation of the jet, whose polarization vector is approximately perpendicular to the jet direction. It was shown that the observed depolarization in the  $H\alpha$  line is caused by the warm gas of the broad line region (BLR) moving along the disk axis towards the observer with a velocity of 1200 km/s.

*V.L. Afanasiev, A.I. Shapovalova, L. Popovich, N.A. Borisov. MNRAS, 448, 2879–2889 (2015).*

### THE NEW METHOD OF AGN BLACK HOLES MASS MEASUREMENT

The method of direct determination of AGN black hole mass based on the observed relation between polarization plane angle and velocity in the BLR was implemented. The test was made by means of numerical simulation by Monte–Carlo method with the STOKES package. It was shown that the method gives correct (in the dynamical sense) estimates, which do not depend on the galaxy angle of inclination to the line of sight.

*V.L. Afanasiev, L. Popovich. AJL, 800 (2), L35 (2015).*

### THE FIRST LONG-TERM MONITORING OF THE QUASAR E1821+643

We analyzed the results of the long-term (1990–2014) photometric (in B, V and R bands) and spectroscopic (within the range of 4000–7500 Å) monitoring of the double black hole candidate QSO E1821+643 — a nearby ( $z = 0.2972$ ) radio quiet high luminosity quasar. Using the cross-correlation functions, it was obtained that the lag time between the continuum and the  $H\alpha$  lines was 120 and 60 days respectively, and between the continuum at 4200 Å and at 5100 Å it was  $\sim 2$ –6 days. The continuum and  $H\alpha$  fluxes had been changing by a factor of  $\sim 2$  times, whereas the  $H\alpha$  fluxes by  $\sim 1.4$  times.

Найдены периодические вариации в фотометрических потоках с периодами 1200, 1850, 4000 и 4500 дней и периодичность в вариациях континуальных и  $H\alpha$  потоках  $\sim 4500$  дней. Оцененная масса черной дыры  $\sim 2.6 \times 10^9 M_{\odot}$ . Показано, что интерпретация результатов в рамках модели двойной черной дыры противоречит наблюдениям. Наиболее вероятный сценарий для объяснения наблюдений — присутствие плотных богатых газом облачно-подобных структур, вращающихся вокруг отскочившей черной дыры.

*А.И. Шаповалова, А.Н. Буренков, В.Е. Жданова, Н.Г. Бочкарев и др. AJ Suppl., 222 (2), id. 25, 18 pp. (2016).*

#### ПАРАМЕТРЫ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ВЕТРА В NGC 4460

NGC 4460 — линзовидная изолированная галактика, в которой в ходе  $H\alpha$ -обзора близких галактик на 6-м телескопе САО РАН (Кайсин, Караченцев, A&A, 479, 603, 2008) была обнаружена протяжённая эмиссионная туманность. Моисеевым и др. (MNRAS, 403, 1849, 2010) представлены результаты её спектрального исследования. Было показано, что эта туманность является результатом действия галактического ветра от текущего звездообразования в компактной ( $\approx 1$  кпк) области в центре галактического диска.

По результатам наблюдений на БТА в линии  $H\alpha$  с помощью сканирующего интерферометра Фабри–Перо была изучена кинематика ионизованного газа в этой галактике. Чтобы уточнить параметры истечения газа из плоскости галактического диска, использовалась простая геометрическая модель ветра, в которой выметенные оболочки представлены в виде двух вращающихся конусов, стенки которых видны в  $H\alpha$ , а находящийся внутри горячий газ в балмеровских эмиссионных линиях не излучает. Выполненный в рамках этой модели анализ кинематики показал, что галактический ветер имеет клочковатую структуру с характерными скоростями движения газа 30–80 км/с, что сопоставимо с подобными истечениями в других карликовых галактиках (см. рис. 18). Получены новые оценки для энергии ветра, лежащей в пределах  $E_{\text{wind}} = 0.3\text{--}2.2 \cdot 10^{52}$  эрг, и возраста образованной им эмиссионной туманности 20–50 млн лет. Характерные скорости убегания для данной галактики показывают, что энергии галактического ветра не хватает, чтобы выбросить газ за пределы области гравитационного влияния галактики. Таким образом, со временем вещество вновь вернётся в галактику.

*Д.В. Опарин, А.В. Моисеев, Ast.Bull., 70 (4), 392 (2015).*

Periodic variations in photometric fluxes with periods of 1200, 1850, 4000 and 4500 days and periodicity in variations of the continuum and  $H\alpha$  fluxes of  $\sim 4500$  days were detected. The black hole mass was estimated as  $\sim 2.6 \times 10^9 M_{\odot}$ . It was shown that interpretation of the results in the context of the double black hole model contradicts the observations. The most plausible scenario for explanation of the observations is as follows: the presence of dense gas-rich cloud-like structures rotating around a recoiling black hole.

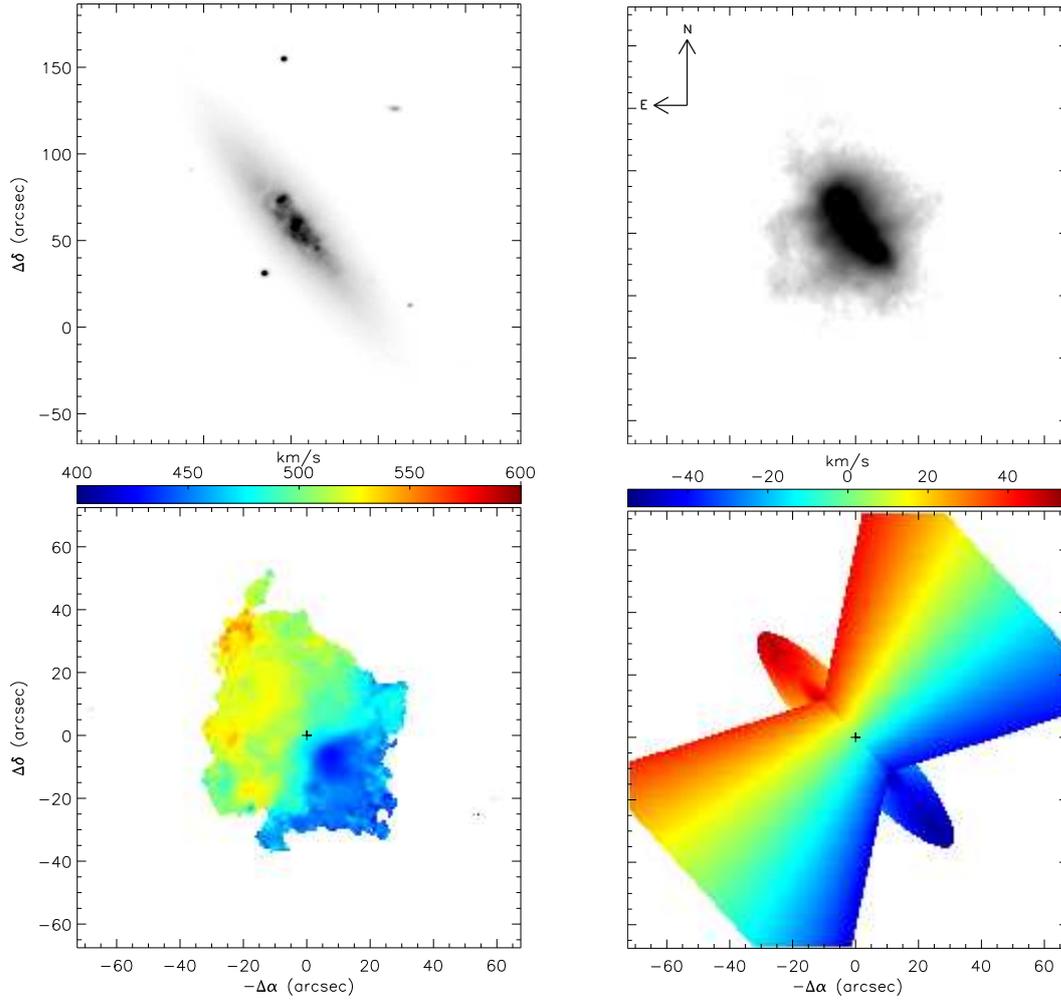
*A.I. Shapovalova, A.N. Burenkov, V.E. Zhdanova, N.G. Bochkaev et al. AJ Suppl., 222 (2), id. 25, 18 pp. (2016).*

#### PARAMETERS OF THE GALACTIC WIND IN NGC 4460

NGC 4460 is an isolated lenticular galaxy. During the  $H\alpha$  survey of nearby galaxies with the 6m telescope of SAO RAS (Kaisin, Karachentsev, A&A, 479, 603, 2008), an extended emission nebula was detected in it. Moseev et al. (MNRAS, 403, 1849, 2010) presented results of its spectral investigation. It was shown that this nebula is caused by a galactic wind from a compact ( $\approx 1$  kpc) region of current star formation in the galactic disk center.

Kinematics of the ionized gas in this galaxy was studied from the BTA  $H\alpha$ -line observations with the scanning Fabry–Perot interferometer. To study the parameters of gas outflow from the galactic disk plane, we used a simple geometric model of wind in which the swept out envelopes are presented as two rotating cones whose walls are seen in  $H\alpha$  but the internal hot gas does not emit in the Balmer emission lines. The kinematics analysis made in the context of this model has shown that the structure of galactic wind is flocky with typical gas motion velocities of 30–80 km/s, which is comparable with similar outflows in other dwarf galaxies (see Fig. 18). New estimates were obtained for the wind energy lying in the range  $E_{\text{wind}} = 0.3\text{--}2.2 \cdot 10^{52}$  erg and the age of the emission nebula generated by it of 20–50 million years. Typical escape velocities for this galaxy show that the energy of galactic wind is not sufficient to eject gas outside the galaxy gravitational influence. Thus, sooner or later the matter will return back into the galaxy again.

*D.V. Oparin, A.V. Moiseev, Ast.Bull., 70 (4), 392 (2015).*



**Рис. 18:** Вверху: слева — изображение галактики NGC 4460 из SDSS-обзора в фильтре  $r$ , справа — изображение в эмиссионной линии  $H\alpha$ , полученное по данным наблюдений с интерферометром Фабри–Перо (ИФП) на БТА. Внизу: слева — поле лучевых скоростей по данным ИФП, справа — модель вращения диска галактики и выметаемого вещества галактического ветра.

**Fig. 18:** Top: SDSS image of the NGC 4460 galaxy in the  $r$  filter (left), image in the emission  $H\alpha$  line obtained in the BTA observations with the Fabry–Perot interferometer (FPI) (right). Bottom: radial velocity field by the FPI data (left), model of galaxy disk rotation and the swept-out matter of galactic wind (right).

## ТУРБУЛЕНТНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА В КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИКАХ

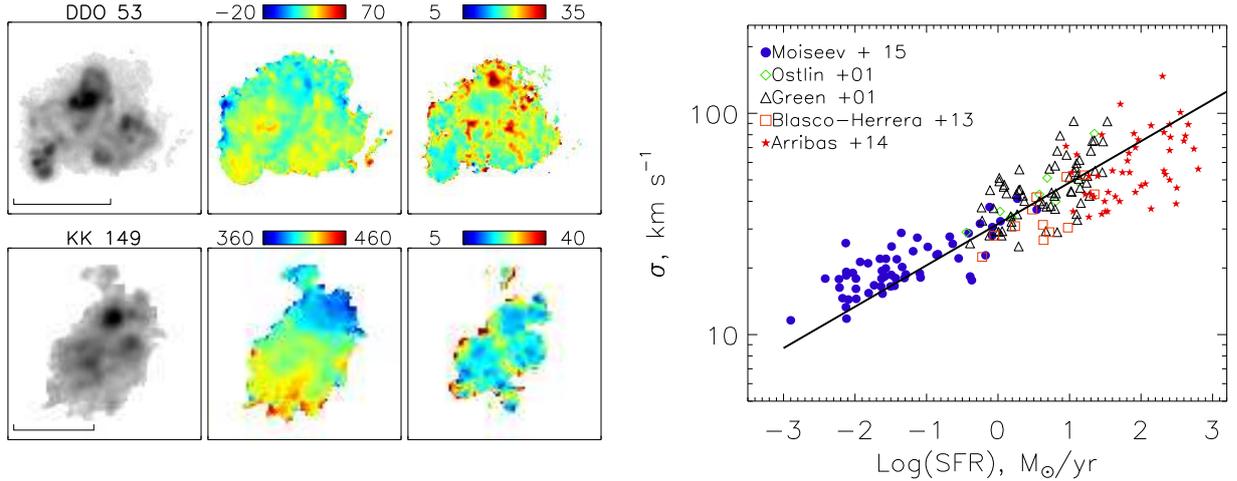
С использованием 3D-спектроскопии со сканирующим интерферометром Фабри–Перо на БТА была изучена кинематика ионизованного газа в 59 близких карликовых галактиках. Построены двумерные поля скоростей ионизованного газа, карты дисперсии скоростей и изображения галактик в линии  $H\alpha$  (рис. 19 слева). С помощью этих карт была вычислена средняя (взвешенная по светимости) дисперсия скоростей ионизованного газа ( $\sigma$ ).

Полученные на 6-м телескопе данные значительно расширяют в сторону маломассивных галактик известное из литературы соотношение «светимость–дисперсия скоростей» ( $L$ – $\sigma$ ) и дают наблюдательные аргументы в пользу того, что величина  $\sigma$  определяется текущим звездообразованием:

## TURBULENT MOTIONS OF IONIZED GAS IN DWARF GALAXIES

Kinematics of the ionized gas of 59 nearby dwarf galaxies was studied using 3D spectroscopy with the BTA scanning Fabry–Perot interferometer. 2D velocity fields of the ionized gas, maps of velocity dispersion and  $H\alpha$  images of the galaxies were constructed (Fig. 19 left). These maps were used to calculate the average (luminosity weighted) velocity dispersion of the ionized gas ( $\sigma$ ).

The data obtained from the 6m telescope considerably extend the “luminosity–velocity dispersion” ( $L$ – $\sigma$ ) relation, known from the literature, to the side of low-massive galaxies and give observational evidence that  $\sigma$  is determined by current star formation:



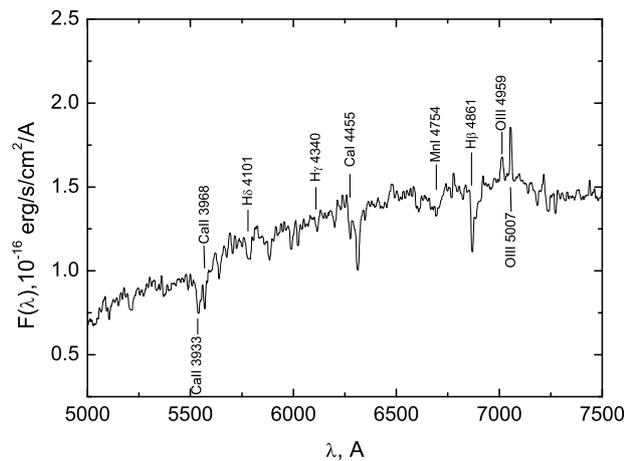
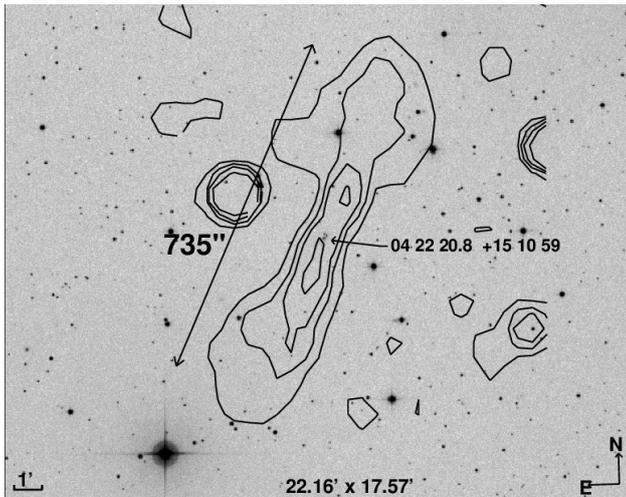
**Рис. 19:** Примеры изображений в линии  $\text{H}\alpha$  карт лучевых скоростей и дисперсии скоростей ионизованного газа (исправленных за тепловое уширение линий), полученных из наблюдений со сканирующим интерферометром Фабри–Перо для двух карликовых галактик (слева). Соотношение  $\text{SFR}-\sigma$  для различных типов галактик (справа). Синие точки — данные, полученные на 6-м телескопе. Черная линия — линейная аппроксимация этого соотношения.

**Fig. 19:** Examples of images in the  $\text{H}\alpha$  line, maps of line-of-sight velocities and velocity dispersion (corrected for thermal line broadening) obtained from scanning Fabry–Perot interferometer observations of two dwarf galaxies (left). The  $\text{SFR}-\sigma$  relation for different types of galaxies (right). Blue dots depict the data from the 6-m telescope. The black line shows a linear fit of these relationships.

- Средняя  $\sigma$  лучше коррелирует со светимостью галактик в линии  $\text{H}\alpha$ , чем со светимостью в широких фильтрах  $B$  и  $K$ . Практически отсутствует корреляция между  $\sigma$  и скоростью вращения галактики (т.е. ее полной массой).
- На основании этих результатов и данных из литературы построено глобальное соотношение между  $\sigma$  и темпом звездообразования (SFR), определяемым по светимости в  $\text{H}\alpha$ , выполняющееся в широком диапазоне  $\text{SFR} = 0.001\text{--}300 M_{\odot}/\text{год}$ . Соотношение  $\text{SFR}-\sigma$  для объединенной выборки карликовых галактик, галактик с мощным звездообразованием, близких ярких и ультраярких инфракрасных галактик аппроксимируется как  $\text{SFR} \propto \sigma^{5.3 \pm 0.2}$  (рис. 19 справа). Таким образом, наклон зависимости  $L-\sigma$  в выборке дисковых галактик с доминирующим вращением (включая взаимодействующие) сходен с аналогичным соотношением для отдельных гигантских областей  $\text{H II}$ .
- The average  $\sigma$  better correlates with galaxy luminosity in the  $\text{H}\alpha$  line than with luminosity in the wide  $B$  and  $K$  filters. There is no correlation between  $\sigma$  and galaxy rotation velocity (i.e., its total mass).
- On the basis of these results and data from the literature, we constructed a global relation between  $\sigma$  and star formation rate (SFR) determined from  $\text{H}\alpha$  luminosity, which is true within a wide range of  $\text{SFR} = 0.001\text{--}300 M_{\odot}/\text{year}$ . The  $\text{SFR}-\sigma$  relation of the unified sample of dwarf galaxies, starburst galaxies, nearby luminous and ultraluminous infrared galaxies is approximated as  $\text{SFR} \propto \sigma^{5.3 \pm 0.2}$  (Fig. 19 right). Thus, the slope of the  $L-\sigma$  relation in the sample of disk galaxies with prevailing rotation (including the interacting ones) is similar to the analogous relation for separate giant  $\text{H II}$ -regions.

Вместе с другими аргументами это говорит о том, что скорость турбулентного движения ионизованного газа не связана с вириальными движениями в гравитационном потенциале карликовых галактик, а в основном определяется энергией, «выпрыскиваемой» в межзвездную среду в процессе текущего звездообразования.

Along with other arguments, this means that the velocity of ionized gas turbulent motion is not related with virial motions in gravitational potential of dwarf galaxies but is determined mainly by the energy “injected” into the interstellar medium in the process of current star formation.



**Рис. 20:** Источник 0422+1512. Слева: изоконтур радиокарты NVSS, наложенные на изображение из DSS2-red. Стрелочка отмечает положение хозяйской галактики и ее оптические координаты, также показан принятый размер радиоструктуры. Справа: оптический спектр хозяйской галактики, полученный со SCORPIO-2; отмечено положение основных эмиссионных и абсорбционных линий.

**Fig. 20:** The source 0422+1512. Left: isocontours of the NVSS radio map superimposed on the DSS2-red image. The arrow points the location of the host galaxy and its optical coordinates. The accepted size of the radio structure is also shown. Right: optical spectrum of the host galaxy obtained with SCORPIO-2; main emission and absorption lines are marked.

## ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ НОВЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ РАДИОГАЛАКТИК

Анализ каталога радиоданных NVSS с помощью специально разработанных алгоритмов, дал список около полутора тысяч кандидатов в новые протяженные радиоисточники. С помощью SCORPIO-2 на БТА проведены спектральные наблюдения оптических компонент девяти протяженных радиоисточников (рис. 20). Измеренные красные смещения центральных галактик лежат в диапазоне  $z = 0.1-0.4$ . В рамках стандартной космологической модели получены физические размеры радиоисточников. Два самых протяженных объекта выборки 0003+0351 и 0422+1512 достигают размеров 2.1 Мпк и 4.0 Мпк соответственно. Последняя величина лишь немного меньше самого протяженного из известных на сегодняшний день радиоисточников (3C236). Общепризнанно, что основным источником энергии радиогалактик является падение вещества на центральную сверхмассивную черную дыру. В то же время, пока нет единого мнения о причинах, порождающих столь протяженные объекты и долгое «время жизни» релятивистских частиц, синхротронное излучение которых и наблюдается в радиодиапазоне.

*В.Р. Амирханян, В.Л. Афанасьев, А.В. Моисеев, Ast.Bull., 70 (1), 45 (2015).*

## OPTICAL IDENTIFICATION OF NEW EXTENDED RADIO GALAXIES

Analysis of the radio data NVSS catalog with specially developed algorithms gave a list of about 1500 new extended radio sources candidates. Spectroscopic observations of optical components of nine extended radio sources were carried out with BTA SCORPIO-2 (Fig. 20). Measured redshifts of central galaxies are within the range of  $z = 0.1-0.4$ . Physical parameters of the radio sources were obtained in the context of the standard cosmological model. The sizes of the two most extended objects of the sample, 0003+0351 and 0422+1512, are as large as 2.1 Mpc and 4.0 Mpc respectively. The latter value is only slightly less than that of the currently most extended radio source 3C236. It is generally recognized that the main source of radio galaxy energy is the accretion of matter onto a central supermassive black hole. At the same time, there is no consensus yet about the cause generating so extended objects and the long “life time” of relativistic particles, whose synchrotron radiation is observed in radio.

*V.R. Amirkhanyan, V.L. Afanasiev, A.V. Moiseev. Ast.Bull., 70 (1), 45 (2015).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ С ЭВОЛЮЦИЕЙ МАССИВНЫХ ЗВЕЗД И ТЕМПОМ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ДАЛЕКИХ ГАЛАКТИКАХ

На основе проведенных на БТА наблюдений завершено исследование гамма-всплеска GRB 140801A в сотрудничестве с проектом MASTER. Наблюдения этого объекта в САО РАН начались спустя 2 часа после детектирования гамма-всплеска космической обсерваторией Fermi (V. Pelassa, 2014, GCN 16658). Обнаружение абсорбционных линий Fe II, Al II, Mg II, Mn II в спектре, полученном спустя 3.89 часа после регистрации события, позволило подтвердить красное смещение объекта  $z = 1.32$ . Спектр получен с помощью прибора SCORPIO в диапазоне 3500–7200Å, с разрешением  $FWHM = 15\text{Å}$ , прямые снимки в фильтрах V и Rc. Поведение оптического источника прослеживалось на 6-метровом телескопе в течение ночи, а также спустя сутки после гамма-триггера, что позволило обнаружить изменение показателя степенного закона падения блеска со временем с  $-1.4$  до  $-0.8$ . Было показано, что это вполне естественно объясняется доминированием прямой ударной волны на ранних стадиях и обратной на более поздних.

Для сверхновой Ib типа SN 2012au в ходе международного мониторинга было получено более 20 оптических спектров, покрывающих временной диапазон от 5 дней перед максимумом блеска до 96 дней после него. Удалось детально проследить эволюцию спектральных особенностей (см. рис. 21). Для понимания физики процессов в этих классах объектов проведено сравнение аналогичных характеристик, по линиям Ca II, Fe II, Si II, O I, He I и H I были построены кривые уменьшения скоростей расширения различных частей оболочки, разлетающейся в результате взрыва звезды. Скорости тяжёлых элементов, водорода, кремния и гелия, достигающих 24000 км/с, были сравнены с аналогичными скоростями изучавшихся ранее объектов. В сравнении с характерными представителями Ib типа, SN 2012au показывает заметно более высокие скорости расширения фотосферы, гелия и водорода, приближаясь по этим характеристикам к сверхновым, связанным с гамма-всплесками.

Проведен мониторинг близкого гамма-всплеска GRB 150818A. Открытый космической обсерваторией Swift гамма-всплеск GRB 150818A наблюдался несколькими наземными телескопами: 6-м БТА и 1-м Zeiss-1000 в САО РАН, 10.4-м GTC, 2.5-м NOT, 1-м телескоп в ТШАО, 1.6-м АЗТ-33ик в Мондах и др. На телескопах САО было проведено 14 эпох наблюдений, преимущественно в фильтре Rc. В совокупности с имеющимися данными других обсерваторий было показано наличие значительного поярчания на кривой блеска в красном фильтре. Максимум блеска наступил спустя примерно 11 дней после всплеска (в системе отсчёта объекта на красном смещении  $z = 0.282$ ), что сравнимо с характерными временами наступления максимума у Ic типа сверхновых. Фотометриче-

## A STUDY OF THE CONNECTION OF GAMMA-RAY BURSTS WITH THE EVOLUTION OF MASSIVE STARS AND STAR FORMATION RATE IN DISTANT GALAXIES

On the basis of BTA observations, a study of the gamma-ray burst GRB 140801A was completed in collaboration with the MASTER project. The observations of this object at SAO RAS started 2 hours after the detection of the gamma-ray burst by the Fermi space observatory (V. Pelassa, 2014, GCN 16658). Detection of the absorption lines Fe II, Al II, Mg II, Mn II in a spectrum obtained 3.89 hours after the recording of the event allowed us to confirm the object's redshift  $z = 1.32$ . The spectrum was obtained with SCORPIO within the range of 3500–7200Å with the resolution  $FWHM = 15\text{Å}$ , the direct images are in the V and Rc filters. The behavior of the optical source was traced with the 6m telescope during this night and a day after the gamma-ray trigger, which allowed us to discover the variation of the power-law brightness fall index with time from  $-1.4$  to  $-0.8$ . It was shown that this is explainable quite naturally by the dominance of the direct shock wave at the early stages and the reverse one at the later stages.

In the course of the international monitoring of the type Ib supernova SN 2012au, more than 20 optical spectra were obtained covering the time range from 5 days before the brightness peak to 96 days after it. We succeeded in tracing the evolution of spectral features in detail (see Fig. 21). To understand physics of the processes in objects of this class, analogous characteristics were compared. The curves of decrease of the expansion velocities of different parts of the envelope flying away due to the star explosion were constructed from the lines Ca II, Fe II, Si II, O I, He I, and H I. The velocities of heavy elements, hydrogen, silicon, and helium, achieving 24000 km/s, were compared to analogous velocities of the objects studied previously. In comparison with typical type Ib representatives, SN 2012au shows noticeably higher velocities of photosphere expansion, helium and hydrogen, approaching (by these characteristics) to the supernovae related to gamma-ray bursts.

The monitoring of GRB 150818A was carried out. The gamma-ray burst GRB 150818A, discovered by the Swift space observatory was observed with the ground-based telescopes: the 6m BTA and 1m Zeiss-1000 at SAO RAS, the 10.4m GTC, the 2.5m NOT, the 1m telescope at TShAO, the 1.6m AZT-33ik in Mondy, and others. Fourteen epochs of observations were conducted with the SAO RAS telescopes, predominately in the Rc filter. In combination with available data from other observatories, it was shown that there is a considerable brightening in the red-filter light curve. The brightness became maximum about 11 days after the burst (in the object reference system at the redshift  $z = 0.282$ ), which is comparable with typical times of maximum in type Ic supernovae. The photometric signatures were confirmed

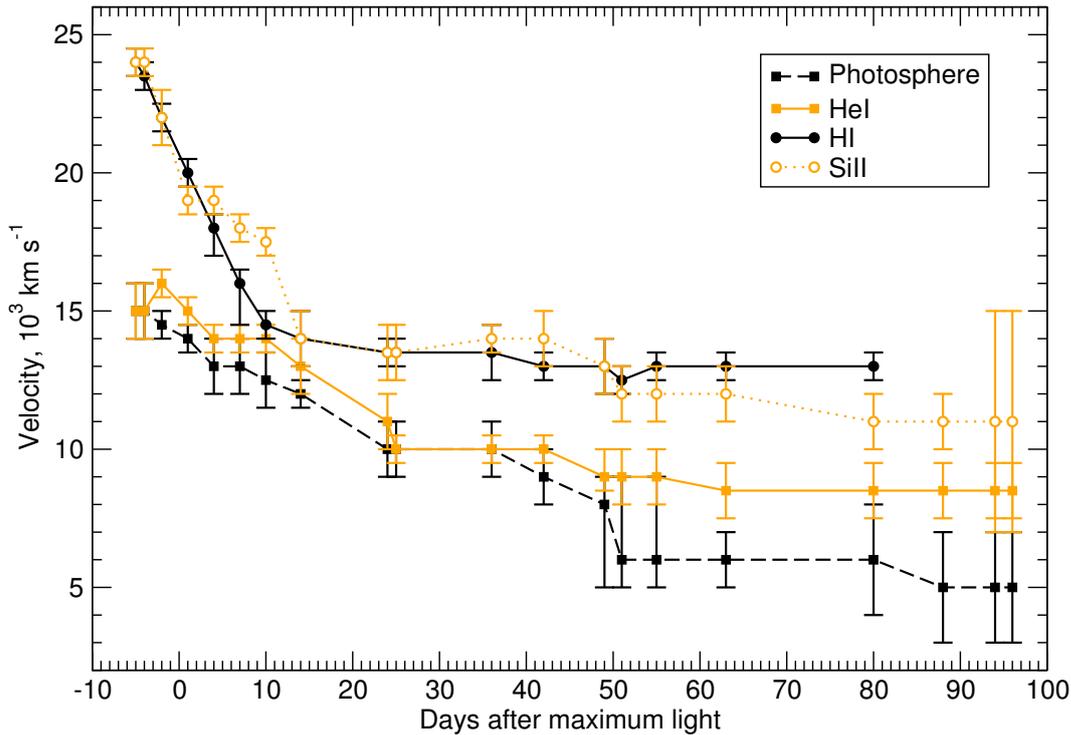


Рис. 21: Эволюция скоростей расширения слоев He I, H I и Si II у сверхновой SN 2012au

Fig. 21: The evolution of layers expansion velocities of SN 2012au He I, H I and Si II.

ские признаки были подтверждены спектрально на 10.4-м телескопе GTC. Планируется проведение наблюдений родительской галактики объекта.

by spectra from the 10.4m GTC. Observations of the object's host galaxy are planned.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов, А.С. Москвитин, В.В. Соколов, А.В. Бирюков, Г.А. Оганесян. «GRB 140801A: BTA confirmation of redshift», GCN 16663.

G.M. Beskin, S.V. Karpov, A.S. Moskvitin, V.V. Sokolov, A.V. Biryukov, G.A. Oganesyan. "GRB 140801A: BTA confirmation of redshift", GCN 16663.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК

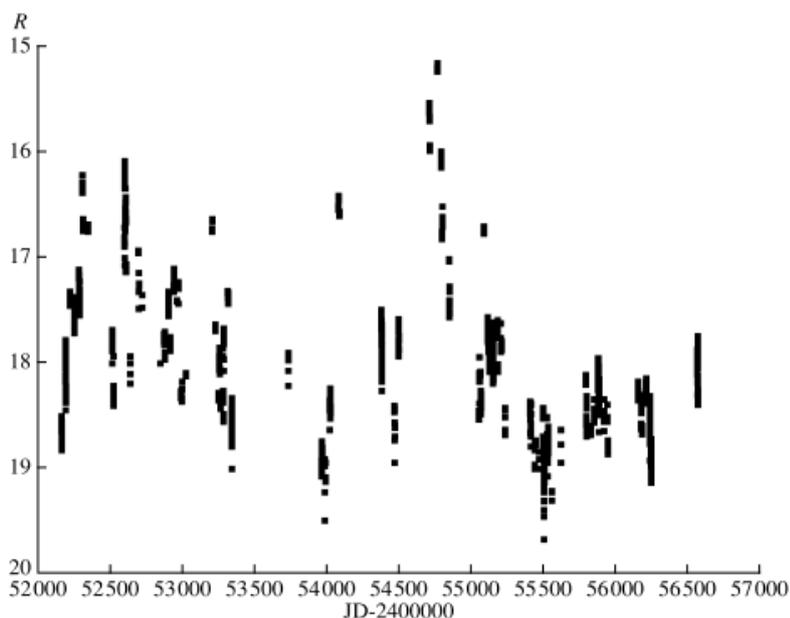
Продолжены совместные наблюдения в радио- и оптическом диапазонах активных ядер галактик типа BL Lac с целью обнаружения быстрой (IDV) переменности потока излучения и установления корреляции вариаций потока от источников в указанных диапазонах длин волн. Синхронные наблюдения выборки из 10 объектов проводились на 1-м рефлекторе Цейсс-1000 с штатным ПЗС-фотометром в основном в R фильтре и на 22-метровом радиотелескопе НИИ КраО на частотах 22 и 36 ГГц. Для части объектов выборки получены данные в полосах B, V, R, I. Это позволит проанализировать вариации цветов исследуемых источников на различных этапах блеска.

Проведен многолетний мониторинг двух объектов выборки — AO 0235+164 и S5 0716+714. Для AO 0235+164 построена кривая блеска в полосе R на протяжении двенадцати лет: с 2002 по 2013 гг. Наряду со сравнительно быстрой переменностью на масшта-

## A STUDY OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI

Joint radio and optical observations of BL Lac type active galactic nuclei were continued with the purpose of detecting intraday variability (IDV) of radiative flux and determining correlations between flux variations in the indicated wavelength ranges. Simultaneous observations of a sample of 10 objects were carried out with the 1m Zeiss-1000 reflector using the standard CCD photometer mainly in the R filter and with the 22-meter radio telescope of CrAO at frequencies of 22 and 36 GHz. For a part of the sample the data were obtained in the B, V, R, I bands. This will allow us to analyze color variations of the considered sources at different brightness stages.

Two objects of the sample, AO 0235+164 and S5 0716+714, were monitored during many years. For AO 0235+164 the R-band light curve was constructed for 12 years: from 2002 to 2013. Along with a comparatively fast variability on a scale of week, the large-scale details



**Рис. 22:** Кривая фотометрической переменности АО 0235+164 в фильтре R в течение 2002-2013 гг.

**Fig. 22:** AO 0235+164 photometric variability curve in the R band from 2002 to 2013.

бах недель хорошо видны крупномасштабные детали с амплитудой до  $4^m$  на масштабах порядка года. Отметим, что уярчение АО 0235+164 почти до  $15^m$  в 2009 г. (интервал 54600–54800 на рис. 22) совпадает с нарастанием потока в радиодиапазоне и в гамма-диапазоне. Совместный анализ данных, полученных в оптическом и радиодиапазонах, продолжается.

with an amplitude of up to  $4^m$  are seen well on a scale of a year. Notice that the brightening of AO 0235+164 almost up to  $15^m$  in 2009 (the range 54600–54800 in Fig. 22) coincides with the increase of flux in radio and gamma-rays. Joint analysis of the data obtained in the optical and radio ranges goes on.

*В.В. Власюк, М.М. Габдеев, Т.А. Фатхуллин, О.И. Спиридонова и др. АТел, 7004 (2015). АRep, 59 (9), 851 (2015).*

*V.V. Vlasjuk, M.M. Gabdeev, T.A. Fatkhullin, O.I. Spiridonova et al. ATel, 7004 (2015). ARep, 59 (9), 851 (2015).*

## ФИЗИКА ЗВЕЗД

## STELLAR PHYSICS

### ОБНАРУЖЕНИЕ СВЕРХМЕДЛЕННОГО МАГНИТНОГО РОТАТОРА HD 965

### DISCOVERY OF A SUPERSLOW MAGNETIC ROTATOR HD 965

На 6-м телескопе продолжается изучение очень медленно вращающихся магнитных звезд, с периодами вращения годы и десятилетия. Наличие таких объектов крайне важно для объяснения природы формирования крупномасштабных магнитных полей химически пекулярных звезд — у таких медленных ротаторов поле не может генерироваться механизмом динамо. Вплоть до последних лет было известно всего 2 объекта со сверхмедленным вращением, что можно было бы объяснить случайностью. В результате длительных мониторингов в 2015 г. получены измерения магнитных полей двух звезд: HD 965 и HD 18078. Показано, что период вращения HD 965 превышает 15 лет и не может быть пока определен более точно, потому что наблюдения не охватили полный цикл переменности. Поэтому магнитная модель звезды еще не может быть построена. Период вращения HD 18078 составляет 1360 суток. Построена фазовая магнитная кривая и модель магнитного поля. Магнитный диполь смещен от оси вращения и наклонен по отношению к ней. Обнаружение двух новых очень медленно

The study of magnetic stars rotating very slowly with periods of years and tens of years continues on the 6m telescope. The existence of such objects is of great importance for explanation of the nature of large scale magnetic field formation in chemically peculiar stars: in that slow rotators the field cannot be generated by the dynamo mechanism. Up to the recent years, only 2 objects with superslow rotation were known, which could have been explained by an accident. In 2015 a long monitoring resulted in obtaining the magnetic field measurements for two stars: HD 965 and HD 18078. It was shown that HD 965 rotation period exceeds 15 years and cannot be determined more exactly yet, because the observations do not cover the total variability cycle. That is why the magnetic model of the star cannot be constructed yet. The HD 18078 rotation period is 1360 days. The phase magnetic curve and a model of the magnetic field were constructed. The magnetic dipole is shifted from the rotation axis and inclined towards it. The discovery of two new very slowly rotating stars shows that slow rotation is not accidental, this is a law in rotation velocity distri-