Магнитное поле в рентгеновской системе Суд Х-1, его переменность и наблюдательные проявления

> Карицкая Е.А., ИНАСАН РАН Бочкарев Н.Г., ГАИШ МГУ

Докладываемые результаты получены в соавторстве с

Хубриг С.,

Шиманский В.В., Гнедин Ю.Н., Погодин М.А., Юдин Р.В., Агафонов М.И., Шарова О.И., Бутенко Г.З., Бондарь А. В.,

Жариков С.В., и др.



Предсказание магнитного поля Cyg X-1

Миллисекундные мерцания рентгеновского излучения Cyg X-1 -- свидетельство присутствия черной дыры (Шварцман В.Ф. 1971а,б,в) и указание на роль магнитного поля при аккреции на ЧД (Пустильник Л.А. и Шварцман В.Ф., 1974, 1975, Каплан С.А. и Шварцман, 1976);





Ученик Я.Б.Зельдовича Викторий ШВАРЦМАН (1945-1987)



Изображение магнитной аккреции из книги Белова и Бочкарева, 1983

Спектрополяриметрические наблюдения. Открытие магнитного поля в Суд X-1

Основные результаты изложены в работах:

- E.A.Karitskaya, N.G.Bochkarev, S.Hubrig, Yu.N.Gnedin, M.A.Pogodin, R.V.Yudin, M.I.Agafonov, O.I.Sharova Magnetic Field in X-ray Binary Cyg X-1, 2009, arXiv: astro-ph 0908.2719
- E.A.Karitskaya, N.G.Bochkarev, S.Hubrig, Yu.N.Gnedin, M.A.Pogodin, R.V.Yudin, M.I.Agafonov, O.I.Sharova, 2010, The first discovery of a variable magnetic field in X-ray binary Cyg X-1 = V1357 Cyg, IBVS, No. 5950, 1
- Karitskaya, Eugenia A.; Bochkarev, N.G.; Hubrig, S.; Gnedin, Yu.N.; Pogodin, M.A.; Yudin, R.V.; Agafonov, M.I.; Sharova,O.I., The magnetic field in the X-ray binary Cyg X-1. In: Cosmic Magnetic Fields: from Planets to Stars and Galaxies, Eds. K. G. Strassmeier, A.G. Kosovichev, J. Beckman, Cambridge Univ. Press, IAU Symp. 259, 2009, p. 137-138.

Наблюдения

- <u>Very Large Telescope</u> (VLT) 8.2 м (гора Паранал, Чили);
- Спектрополяриметрия на спектрографе FORS1;
- Разрешение R=4000;
- Диапазон 3680-5129 А;
- S/N = 1500 3500 (для I);
- с 18 июня по 9 июля 2007 г.
 с 14 по 30 июля 2008 г.
 (Суд Х-1 в жестком состоянии рентгеновского спектра);
- 13 ночей по 1 часу наблюдений → получено по 13 спектров интенсивностиІ и круговой поляризации V.



МЕТОД

Основан на эффекте Зеемана. Расщепление << ширины линий

Зеемановская волна для H-beta B0 звезды ξ1 CMa (mv=4.3m;<Bz>=300 Гс)



Измерение круговой поляризации (параметра Стокса V)



$$\frac{V}{I} = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{f^{\circ} - f^{e}}{f^{\circ} + f^{e}} \right)_{\alpha = -45^{\circ}} - \left(\frac{f^{\circ} - f^{e}}{f^{\circ} + f^{e}} \right)_{\alpha = +45^{\circ}} \right\}$$

о и е – обыкновенный и необыкновенный лучи при двух положениях 1/4-волновой пластинки

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Метод Ландстрита (Landstreet J.D.1982, ApJ 258, 639) измерения продольной компоненты магнитного поля, усредненной по картинной плоскости <Bz>:

$$\frac{V}{I} = -\frac{g_{\rm eff}e\lambda^2}{4\pi m_{\rm e}c^2} \frac{1}{I} \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}\lambda} \langle \mathcal{B}_z \rangle$$

Geff -- эффективное значение фактора Ланде

Метод статистический: по всему спектру учет одновременно всех линий диапазона, что повышает чувствительность. <Bz> определяется по линейной регрессии методом наименьших квадратов (S.Bagnulo et al, 2002, AsAp 389, 191).



Измерению <Bz> способствует избыток содержания элементов в атмосфере звезды: [He/H]=0.42, [N/H]=0.9, [Ne/H]=0.7, [Si/H]=0.7, [S/H]=0.4, … (Карицкая и др. 2006, 2007), делающий спектральные линии более сильными.

Усовершенствование методики

Почему это потребовалось?

Метод Ландстрита был тестирован создателями для

- ярких (5-6 m) близких магнитных звезд с <Bz>=500-2000 Гс (когда точности 80-100 Гс достаточно)
- не имеющих линейной поляризации (ни собственной, ни МЗ).

Суд X-1 (~9 m) обладает сильной ~5% МЗ/околозв. линейной поляризацией (в FORS1 она частично конвертируется в круговую) и, как оказалось, <Bz>~100 Гс, т.е. нужно точность *сигма*=20-30 Гс.

Что нами сделано:

- Удалены все детали спектров, не принадлежащие оптическому компоненту Суд X-1: межзвездные, атмосферные, дефекты, эмиссия Hell 4686A, линии с сильными Р Суд компонентами.
- Удален тренд в непрерывном спектре V, обусловленный инструментальной конверсией линейной поляризации в круговую.
- Удалены те точки спектров, которые приводят к остаточным уклонениям, превышающим 3.6 сигма. Они связаны с недоудаленными треками от КЛ.
- Спектр I нормализован на псевдо-континуум, исправленный за M3 поглощение (Av=3.4m), за широкие DIBs, атмосферное поглощение и т.д.

Влияние наклона спектра V/I (тренда) на получаемое значение <Bz>

- Наличие неудаленных трендов в спектрах V/I приводит при использовании метода Ландстрита:
- а) к неверным значениям <Bz>: даже в случае отсутствия эффекта Зеемана (напр., для линейной зависимости V/I от длины волны) вычисленное значение <Bz> не равно 0. В нашем случае неудаленные тренды V/I приводят к завышению полученных значений <Bz> на 20-84 Гс.
- б) к сильному отличию распределения остаточных уклонений от функции Гаусса. Тем самым нарушается гауссова статистика, т.е. в частности, «привычная» зависимость между «надежностью» результата и сигмой (корнем из дисперсии).
- Тщательная нормировка спектров интенсивностей на «псевдоконтинуум» и удаление отскакивающих значений приводит к меньшим, но также значительным (до 30-40 Гс), поправкам к получаемым значениям <Bz>.

Результаты измерении <Bz> оптического компонента Cyg X-1



ТЕСТЫ: Для контроля:

1) каждый спектр был разделен по длинам волн пополам;

по каждой половине определено <Bz>, которые совпали в пределах ошибок

2) Найдены «зеемановские волны» наиболее сильных линий, напр., Hel 4026 А.

3) Статистика отклонений – гауссова до >3.5 сигма – контроль оценок точности.

Результаты измерений <Bz> оптического компонента Суд X-1 2007 год 2008 год



Зависимость магнитного поля от орбитальной фазы возможно меняется со временем.

Результаты измерений <Bz> оптического компонента Cyg X-1 По 13 измерениям 2007-2008 гг.



Зависимость магнитного поля от орбитальной фазы возможно меняется со временем.

Магнитное поле системы Суд X-1

Нами получено В ~ 100 Гс в фотосфере звезды.

Фазовая зависимость более сложная, чем в случае модели дипольного поля, наклоненного к оси вращения системы (квадруполь?).

Она по-видимому переменна. При фазе 0.5 (рентгеновский источник впереди) мы смотрим примерно на один из магнитных полюсов, а при фазе 0.0 – на другой.

Газовые потоки переносят поле к аккреционной структуре, на внешнем краю которой газ уплотняется. Из наших данных следует, что при этом *В* возрастает не более, чем в 6 - 10 раз:

B ~ 600 Гс на расстоянии 6*10^11см = 2*10^5 Rg.

Согласно стандартной модели замагниченного аккреционного диска Шакуры и Сюняева (1973):

$$B(R) = B(R_g) \left(\frac{R_g}{R}\right)^{5/4}$$

→на 3 *Rg B* ~ 10^9 Гс.

Если учесть, что внутри ~10--20 *Rg*, видимо, преобладает лучистое давление, то *B(3 Rg) ~ (2—3) 10^8 Гс.*



Хватает ли энергии магнитного поля внутренних частей диска для объяснения миллисекундного фликеринга рентгеновского излучения Суд X-1?

Если фликеринг имеет магнитную природу, то поток магнитной энергии аккрецирующего вещества должен превышать светимость флуктуирующей компоненты рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение возникает при R<30Rg. Внутри сферы с этим радиусом магнитная энергия составляет 10 40 эрг. Радиальная скорость течения 1.5 км/с (α=1, т.к. магнитная вязкость велика). Отсюда вещество падает за 1000 с -> поток магнитной энергии 10 ³⁷эрг/с. Это соизмеримо или больше мощности флуктуирующей компоненты (0.5-1)10³⁷эрг/с.

Т.о. магнитной энергии хватает.





 $r \gtrsim 20 - 30 R_g$

Объемная строение магнитного поля около ЧД (Robertson & Leiter, 2003) Robertson & Leiter, 2003 Black holes \rightarrow MECO (Magnetic Extremely Compact Object) Магнитный момент Суд X-1 $\mu = 10^{30} \Gamma c \cdot c m^3$

 $B(3R_g) \gg 10^8 \, \Gamma c$

Возможные следствия существования магнитного поля и его переменности



Магнитное поле управляет аккреционным течением вещества

Звездный ветер истекает преимущественно из магнитных полюсов.

Изменение конфигурации магнитного поля может менять картину перетекания вещества.

На поверхности звезды образуются пятна с повышенной температурой

Возможное существование ярких магнитных пятен на О-сверхгиганте Суд Х-1

Основные результаты опубликованы в статьях:

- E.A. Karitskaya, N.G. Bochkarev, On possible photometric manifestation of magnetic field in Cyg X-1, 2015, Adv.Sp.Res. v.55, p.857-861
- E.A. Karitskaya, N.G. Bochkarev, Expected Optical Magnetic-Field Manifestations in the Supergiant of the X-ray Binary Cyg X-1, <u>2015, ASPC 494, 76</u>

Модель атмосферы сверхгиганта в Суд X-1

Основные результаты опубликованы в работах:

- Karitskaya, E. A.; Agafonov, M. I.; Bochkarev, N. G.; Bondar, A. V.; Galazutdinov, G. A.; Lee, B.-C.; Musaev, F. A.; Sapar, A. A.; Sharova, O. I.; Shimanskii, V. V., 2005, Astronomical and Astrophysical Transactions, vol. 24, Issue 5, p.383-389
- Karitskaya E.A., Lyuty V.M., Bochkarev N.G., Shimanskii V. V., Tarasov A. E., Bondar A. V., Galazutdinov G. A., Lee B.-C., Metlova N.V., Long-Term Variations of the Supergiant in the X-Ray Binary Cyg X-1. Inf. Bull. Var. Stars, No. 5678, 2006, p. 1-4.
- Karitskaya, E. A.; Shimanskii, V. V.; Sakhibullin, N. A.; Bochkarev, N. G., Peculiarities of the Chemical Composition of the Optical Component of Cyg X-1. In: Why Galaxies Care about AGB Stars: their Importance as Actors and Probes. ASP Conf. Series, V. 378, Eds.: F.Kerschbaum, C.Charbonell & R.F.Wing, 2007, p. 123-124.
- Шиманский В.В., Карицкая Е.А., Бочкарев Н.Г., Галазутдинов Г.А., Лютый В.М., Шиманская Н.Н. АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ V1357 СУG, АЖ (в печати), 2012

Методика моделирования спектров Суд X-1

Программный комплекс SPECTR (Сахибуллин, Шиманский, 1997)

- Модели облучаемых атмосфер в приближении баланса функций нагрева и охлаждения (Иванова и др., 2002).
- Эквипотенциальная форма звезды, близкой к заполнению полости Роша (Шиманский, 2002).



3) Два типа распределения внешнего излучения – "soft" "hard" (A.Zdziarski,M. Gierlinski,(Prog.Theor.Phys.Suppl.No.155,2004)



4) Синтетический спектр с учетом 580000 линий (Шиманский и др., 2003).
5) Прямой расчет не-ЛТР эффектов для HI, HeI, MgII, SiIV с учетом облучения (Иванова и др., 2004).

Полученные результаты:

 Корректное описание линий HI, HeI при параметрах О-звезды: T_{eff} = 30400 +/- 500K, log g =3.31 +/- 0.07, [He/H] = 0.43+/- 0.06,

 Формирование хромосферы с избытком температуры до 5000К происходит только в мягком состоянии Суд X-1.

Эмиссионные компоненты типа
Р Суд в профилях линий Hel
λλ4387, 4471, 4713, 4921, 5876 Å
горячий ветер, истекающий с
поверхности О-звезды на
глубинах logt < -2.0.

Karitskaya, E.A. *et al.* 2005, *Astr. Astrophys. Trans.* **24**, 383





Возможное существование ярких магнитных пятен на О-сверхгиганте Суд Х-1

Because of complication of detailed magnetohydrodynamic calculation of magnetic force impacts on stellar atmosphere matter only the first attempts to construct 2D and 3D models of magnetic star atmospheres have been made (e.g., Sundqvist et al. 2009, ud-Doula et al. 2013). Moreover, in our case the magnetic field configuration, dynamical fluids in supergiant atmosphere and so on are unknown. Therefore we can make only the simplest estimations.

The mean longitudinal magnetic field averaged over the picture plane <Bz> ~ 100 G in the photosphere of Cyg X-1 optical component (Karitskaya et al. 2009, 2010). The real magnetic field may exceed <Bz> and may reach or even exceed 300 G near the magnetic poles.



The equation of hydrostatic equilibrium, which includes the Lorentz force term $\mathbf{F}_{\mathrm{L}},$ has the form

$$\nabla(P_{\mathbf{g}} + P_{\mathbf{r}}) = \rho \mathbf{g} + \mathbf{F}_{\mathbf{L}} \tag{1}$$

where $P_{\mathbf{g}}$ and $P_{\mathbf{r}}$ are gaseous and radiative pressure correspondingly, \mathbf{g} is gravitation acceleration, ρ is gas density. The Lorentz force can be written as

$$\mathbf{F}_{\mathrm{L}} = -\frac{\nabla \mathbf{B}^2}{8\pi} + \frac{1}{4\pi} (\mathbf{B} \cdot \nabla) \cdot \mathbf{B}.$$
 (2)

The magnetic field creates in the plasma an isotropic pressure $\mathbf{B}^2/8\pi$ (the first term in eq. (2)) and a tension (the second term) directed along the magnetic lines of force, related to the force line curvature and tries to straighten them.

As full solution of self consistent magnetogasdynamics problem is very complicated, we restricted ourself by the simplest estimations in the frame of the unipolar cylindrically symmetric circum-polar magnetic spot model in static approximation. Leaving out of consideration the Lorentz force component related to the force line curvature we can present eq. (1) in form

$$\nabla (P_{\mathbf{g}} + P_{\mathbf{r}} + \frac{\mathbf{B}^2}{8\pi}) = \rho \mathbf{g} \tag{3}$$

Simplest estimations:

unipolar cylindrically symmetric circum-polar magnetic spot model in static approximation The force lines without curvature



Уравнение гидростатического равновесия



$$\nabla (P_{\mathbf{g}} + P_{\mathbf{r}} + \frac{\mathbf{B}^2}{8\pi}) = \rho \mathbf{g}$$
(3)

Simplest estimations:

unipolar cylindrically symmetric circum-polar magnetic spot model in static approximation The force lines without curvature



Наблюдательные аспекты.

Фотометрия. Ожидаемый эффект порядка 0.01^m. Требуемая точность несколько 0.001^m. Наблюдаемая средняя орбитальная кривая блеска не симметрична и отличается от теоретически ожидаемой кривой для вращающейся приливнодеформированной звезды (см.напр. Karitskaya et al. 2001).

V1357 Cyg (Cyg X-1) очень богат на различные события по фотометрической переменности, которые до сих пор не нашли однозначного объяснения (см. Karitskaya et al. 2000, 2001).

Спектроскопия. Переменность профилей спектральных линий. По оценке этот эффект может достигать порядка 0.01 от континуума.

Яркие пятна, обладающие другими параметрами звездной атмосферы при вращении звезды искажают профиль спектральной линии.

Переменность асимметрии профиля линии. Требуется отношение сигнала к шуму 300.

Во время наших спектральных наблюдений на БТА мы наблюдали переменность профилей линий от года к году при близких фазах (например, Нβ). Однако это может быть из-за клочковатости звездного ветра.

H-beta profile variation

φ=0.03



 V_r km/s In H-beta profile on the orbital phase ϕ =0.03 the gas component was appeared in 2007 year.

Спектральные наблюдения

Во время наблюдений на VLT в с 3 по 17 июня 2007 года проводились спектральные наблюдения на :

- 2-м телескопе обсерватории Пик Терскол (Россия) с эшеллеспектрографом МАЭСТРО (разрешение R≈45000).
 Получено 51 спектр.
- 2.1-м телескопе Национальной Астрономической Обсерватории Мексики (OAN SPM) с эшелле-спектрографом, имеющим R≈18000. Получено 83 спектра. Отношение сигнала к шуму S/N≈100 в расчете на элемент разрешения

Полученный нами ряд наблюдений является уникальным по плотности, поскольку получен в течение двух недель каждую ясную ночь попеременно на двух телескопах, разнесенных по долготам (не более 2.5 оборотов объекта).

Суд Х-1 находился в низком "жестком" состоянии.

Это позволило сделать 3D доплеровскую томографию

Доплеровская томография Cyg X-1

Томографическая карта - распределение спектральной интенсивности излучения в пространстве скоростей, строится по профилям спектральной линии.

Применялся метод, разработанный на основе радиоастрономического подхода (РП).

(Agafonov, 2004, Astronomische Nachrichten, v.325, No.3, p.259-262 & p.263).

Основные результаты 2D изложены в работах:

- <u>Karitskaya, E. A.; Agafonov, M. I.; Bochkarev, N. G.; Bondar, A. V.;</u> <u>Galazutdinov, G. A.; Lee, B.-C.; Musaev, F. A.; Sapar, A. A.; Sharova, O. I.;</u> <u>Shimanskii, V. V.</u>, 2005, Astronomical and Astrophysical Transactions, vol. 24, Issue 5, p.383-389
- E.A.Karitskaya, M.I.Agafanov, N.G.Bochkarev, A.V.Bondar, G.A.Galazutdinov, B.-C.Lee, F.A.Musaev, O.I.Sharova, V.V.Shimanskii, A.E.Tarasov. Results of high-resolution optical spectroscopy investigation of Cyg X-1 = V1357 Cyg, Astronomical and Astrophysical Transactions, v. 26, p. 159-162 (2007)
- Sharova, O. I.; Agafonov, M. I.; Karitskaya, E. A.; Bochkarev, N. G.; Zharikov, S. V.; Butenko, G. Z.; Bondar', A. V., Three-Dimensional Doppler Tomography of the X-ray Binary Cyg X-1. In: Variable Stars, the Galactic Halo and Galaxy Formation. Eds. Ch.Sterken, N.Samus, L.Sabodos, Moscow: SAI MSU, 2010, p. 212.

Доплеровская томограмма Суд X-1 в линии He II 4686 A по 13 профилям VLT



Построение 3D томограмм

- Результаты опубликованы в:
- М. И. Агафонов, Е. А. Карицкая, О. И. Шарова, Н. Г. Бочкарев, С. В. Жариков, Г.З.Бутенко, А. В. Бондарь, М.Ю. Сидоров. АЖ, 2018, т.95, №2, 99-113.
- О. И. И. Агафонов, Е. А. Карицкая, О. И. Шарова, Н. Г. Бочкарев, С. В. Жариков, Г.З.Бутенко, А. В. Бондарь, И. Т. Бубукин. АЖ, 2018, т.95 №3, 237-250.
- O. I. Sharova, M. I. Agafonov, E. A. Karitskaya, N. G. Bochkarev, S. V. Zharikov, G.Z. Butenko and A. V. Bondar'

Three-Dimensional Doppler Tomography of the X-ray binary Cyg X-1, In: Varible stars, the galactic halo and Galaxy formation, B.V. Kukarkin Centenary Conference, Eds. Ch.Sterken, N.Samus, L.Szabodos, Moscow, c.212, 2010.

 Sharova, O. I.; Agafonov, M. I.; Karitskaya, E. A.; Bochkarev, N. G.; <u>Zharikov, S. V.</u>; Butenko, G. Z.; Bondar, A. V., Doppler Tomography in 2D and 3D of the X-ray Binary Cyg X-1 for June 2007, In: From Interacting Binaries to Exoplanets: Essential Modeling Tools. Eds. M. T. Richards and I. Hubeny, IAU Symp. 282, 2012, 201-202.

2D томограмма по мексиканским данным (83 профиля Hell4686)





Пример 3D доплеровской томограммы

Показаны пятнадцать (Vx, Vy) сечений,

соответствующих различным величинам компоненты скорости Vz. Структурные особенности, соответствующие сечению Vz=0, имеют направления движений, параллельные орбитальной плоскости системы. Рамкой обведены девять центральных сечений в пределах значений Vz от -160 до +160 км/с. Они приведены с равномерным шагом от сечения к сечению. Верхний и нижний ряд сечений отображает периферийные срезы томограммы.

ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ:



Центральные сечения (около орбитальной плоскости) - Vz=0

А − видна в поглощении, компактная, ассоциируется со звездой-донором (О-сверхгигантом). Максимум абсорбции располагается на центральном сечении.

В - проявляется в эмиссии, относится к аккреционной структуре. Ее интенсивность максимальна на центральном сечении. Она имеет сложную структуру, распадаясь на отдельные элементы: (1) ассоциируется с внешней частью аккреционной структуры, ближайшей к сверхгиганту. Вторая (2) представляет собой газовый поток из точки Лагранжа L1. Направление его движения близко к орбитальной плоскости, а максимальная скорость достигает 800 км/с. (3) ассоциируется с областью взаимодействия потока с аккреционной структурой, имеет некоторое отклонением направления движения от орбитальной плоскости, так как имеет компоненту скорости Vz = -(160-200) км/с.



С - в эмиссии, обладает компонентой скорости, перпендикулярной плоскости орбиты порядка 300 км/с

Периферия -(вне орбитальной плоскости) - Vz~300км/с

Набор сечений для 4 значений ПО ОСИ Vx, ось Vz направлена ВВЕРХ

Компонента (С), находящаяся вне центрального сечения томограммы, хорошо заметна на сечении Vy,Vz при Vx=0. Ее интенсивность доходит до 30~% от максимума основной эмиссионной структуры.

Средняя величина компоненты скорости по

оси Vz составляет около -300 км/с.

Компонента (С) может быть идентифицирована

с областью сверхгиганта в коротационной системе координат.

Происхождение потока

вещества структурного компонента С на томограмме **может быть связано с таким потоком из одного из магнитных полюсов**.



С компонента – поток вещества, перпендикулярный плоскости орбиты



I~6-7% от максимального уровня эмиссии 3D-томограммы.

I~20-30% от максимального уровня эмиссии 3D-томограммы.



наблюдатель смотрит снизу.

Из радио интерферометрических наблюдений на VLBI M.J. Reid, et al., 2011 следует, что двойная система Cyg X-1 вращается по часовой стрелке.

Многолетние наблюдения переменности линейной поляризации оптического излучения Kemp, et al., 1979 также указывают на это.



- Принимая во внимание принятую при расчетах систему координат, делается вывод, что для Cyg X-1 отрицательным значениям скорости Vz будут соответствовать движения по направлению к наблюдателю, а положительным - наоборот. В этой связи представляется логичным различие интенсивностей детали (С) и слабовыраженной симметричной структурной особенности, поскольку последняя, имея противоположное направление, может частично затмеваться сверхгигантом.
- Структура С может быть идентифицирована с областью сверхгиганта в коротационной системе координат и может быть связана с потоком вещества со скоростью Vz около 300 км/с из магнитного полюса, вокруг которого образовалось яркое магнитное пятно.

Результат 3D-томографии

- Впервые реализована доплеровская 3D-томография рентгеновской двойной Cyg X-1, содержащей в качестве релятивистского компонента черную дыру.
- Получена информация о движении газовых потоков, включающая все три компонента скорости, впервые в направлениях, отличных от орбитальной плоскости.
- Получено более полное представление о движении вещества, строении системы и процессе аккреции. В том числе обнаружены: газовый поток из точки Лагранжа L1, область взаимодействия потока вещества с аккреционной структурой и поток вещества, по-видимому, из магнитного полюса оптической звезды (О-сверхгиганта) с предсказанным нами горячим пятном (E.A. Karitskaya, N.G. Bochkarev, Adv. Sp. Res., 55, 857, 2015).

Выводы

- 1. Наши спектрополяриметрические наблюдения с помощью FORS1 на 8.2-м телескопе VLT (г.Паранал, Чили) в 2007-2008 гг позволили обнаружить магнитное поле в рентгеновской двойной системе Лебедь X-1 Значение продольного (вдоль луча зрения) компонента магнитного поля регулярно меняется с орбитальной фазой, достигая максимума на уровне 130 Гс (6 сигма).
- 2. Аккрецирующее вещество переносит магнитное поле, уплотняясь вблизи внешних частей аккреционной структуры, увеличивая его значение до ~600 Гс. Согласно стандартной модели дисковой аккреции такие значения соответствуют величине магнитного поля ~ 10⁸⁻¹⁰⁹ Гс вблизи черной дыры и могут объяснить наблюдаемый миллисекундный фликеринг рентгеновского излучения Лебедя X-1.
- З. Наши расчеты показали, что магнитное давление оказалось сравнимо с газовым и радиационным давлениями, а в области магнитных полюсов сверхгиганта превышает их. Это должно приводить к пятнам повышенной яркости на поверхности звезды, которые могут изучаться с помощью наземной оптической фотометрии и спектроскопии. Эффект может достигать 1%.

- 4. Давление магнитного поля должно влиять на структуру течения вещества - из района магнитных полюсов следует ожидать более сильного истечения звездного ветра. Результаты 3D доплеровской томографии, выполненной нами по профилям линии Hell4686A, полученным из спектральных наблюдений 2007г., по времени совпадающим с наблюдениями магнитного поля, указывают на существование потока вещества со скоростью 300 км/с примерно из области магнитного полюса.
- 5. Есть указание на возможную переменность магнитного поля в сверхгиганте со временем, что может быть причиной вариаций аккреционного течения и долговременной переменности излучения системы.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!