

МАГНИТОСФЕРНАЯ АККРЕЦИЯ НА АЕ/ВЕ ЗВЕЗДЫ ХЕРБИГА И ЗВЕЗДЫ Т ТАУ

Рыспаева Е.Б.¹, Холтыгин А.Ф.², Лютиков М.³

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Purdue University, IN47907, West Lafayette, USA

MAGNETOSPHERIC ACCRETION ONTO Ae/Be HERBIG STARS AND T TAU STARS

Ryspaeva E.B.¹, Kholtygin A.F.², Lyutikov M.³

¹Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Crimea, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³Purdue University, IN47907, West Lafayette, USA

We analyse archival X-ray observations of 15 Ae/Be Herbig stars (HAEBE) obtained by "XMM-Newton" and "Chandra" space observatories. We show that the X-ray spectra of Herbig stars can be described in the magnetospheric accretion model developed for T Tauri stars [1]. The X-ray luminosity of HAEBE turned out to be proportional to the square of the stellar mass, which is typical for T Tauri stars, but a coefficient of proportionality smaller by half of order. In the same time X-ray luminosity of HAEBE proportional to the cube of the stellar radius. Magnetic fluxes and magnetic moments of studied Herbig stars calculated in the framework of the theory of magnetospheric accretion are close to the same values, estimated from their measured magnetic fields. We can conclude that, as for T Tauri stars, the dominant process of generation of X-ray emission from magnetic HAEBE is the interaction of stellar magnetic fields with the magnetic fields of their circumstellar disks.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-237-240

1. Введение

Звезды Ae/Be Хербига (НАЕВЕ) — это молодые звезды до главной последовательности спектральных классов BAF [1]. Возраст этих звезд превышает 10 миллионов лет, а их масса составляет 2–8 $M_{\odot}$. У НАЕВЕ звезд есть плотные околозвездные диски, считающиеся прародителями планетных систем [2]. Многие звезды этого типа являются двойными или кратными, в том числе с Т Тау компонентами. Большинство НАЕВЕ звезд находятся на расстоянии до 500 пк от Солнца [3].

Приблизительно 70% НАЕВЕ звезд обладают заметным рентгеновским излучением со светимостью $L_X \sim 10^{29} - 10^{31}$ эрг/с [4]. Происхождение рентгеновских лучей излучение звезд недостаточно понятно. Рентгеновское излучение этих объектов может формироваться в результате аккреции вещества околозвездного диска [4]. Известны многочисленные свидетельства магнитосферной аккреции среди магнитных звезд Хербига с аккреционными дисками [5]. Недавно опубликовано большое количество параметров звезд Хербига, основанное на данных нового обзора GAIA EDR3 [6].

Доступность такого большого объема данных позволяет более детально изучить применимость модели магнитосферной аккреции для звезд Хербига. В настоящей работе мы рассматриваем ансамбль из 15 магнитных или предположительно магнитных НАЕВЕ звезд для изучения влияния их магнитного поля на процессы аккреции. Генерация рентгеновского излучения в результате взаимодействия между их магнитным полем и окружающим аккреционным диском рассматривается в рамках модели магнитосферной аккреции, разработанной для звезд типа Т Тау [8].

2. Анализ наблюдательных данных

Мы проанализировали архивные рентгеновские наблюдения 15 НАЕВЕ звезд, выполненные на спутниках «XMM-Newton» и «Chandra». Были извлечены рентгеновские кривые блеска для всех исследуемых звезд. Ни на одном из рассмотренных объектов не было зафиксировано рентгеновских вспышек. Были извлечены спектры звезд в диапазоне энергий 0,2–8 кэВ, которые были аппроксимированы тепловыми моделями излучения горячего газа, в котором атомы ионизируются электронным ударом

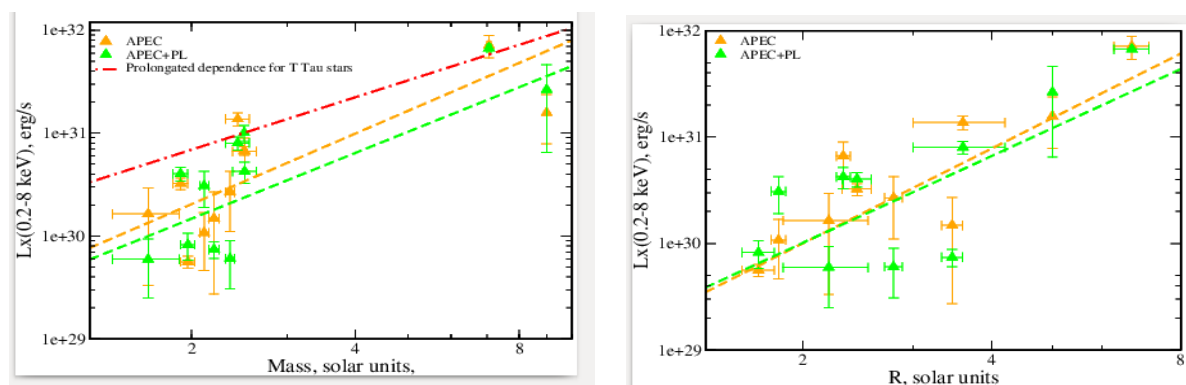


Рис. 1. Зависимости рентгеновской светимости звезд Хербига от массы (слева) и от радиуса звезд (справа). Красной штрихпунктирной линией показано продолжение зависимости светимости от массы для звезд типа Т Тау [7].

АРЕС или MEKAL. Для поиска возможного нетеплового рентгеновского излучения в модельный спектр добавлялась степенная компонента (Power Law, PL). Показано, что рентгеновские спектры звезд Хербига могут быть описаны, как только тепловыми моделями, так и с добавлением степенного закона. Выполнен регрессионный анализ возможных зависимостей между найденными характеристиками рассмотренных рентгеновских спектров и параметрами звезд. Обнаружено соотношение между рентгеновской светимостью радиусами и массами рассмотренных звезд:

$$L_X = C \cdot R^2 M^3, \text{ где } \lg C = 28.37 \pm 0.53.$$

Пропорциональность рентгеновской светимости квадрату массы характерна для звезд типа Т Тау, но у звезд Хербига коэффициент пропорци-

ональности оказался на полпорядка ниже. Графики найденных зависимостей показаны на рис. 1.

3. Модель магнитосферной аккреции

В модели магнитосферной аккреции (см. рис. 2) поверхностное магнитное поле B_* [в Гс] можно оценить по следующей формуле [8], предложенной для звезд типа Т Тау:

$$B_* = 3.43 \left(\frac{\beta}{0.5} \right)^{-7/4} M_*^{5/6} \left(\frac{dM}{dt} \right)^{1/2} R_*^{-3} \left(\frac{P_*}{1 \text{ day}} \right)^{7/6}. \quad (2)$$

где параметр β описывает, насколько эффективно звездное магнитное поле связано с внутренними областями диска. Масса M и радиус R звезды выражаются в массах и радиусах Солнца соответственно. Темп потери массы dM/dt выражается в 10^{-7} масс Солнца в год, а период вращения P_* – в днях.

При значении параметра $\beta = 1$ рассчитанное по формуле (2) полярное магнитное поле звезды Хербига HD 144432 $B_p = 420$ Гс соответствует значению $B_p = 420 \pm 140$ Гс, оцененному по измеренному значению магнитного поля данной звезды [10]. Также для всех рассмотренных нами Ae/Be звезд Хербига были также рассчитаны магнитные потоки Φ_* и магнитные моменты μ_* :

$$\Phi_* \approx \frac{4}{5} \pi R_*^2, \quad \mu_* = \frac{1}{2} B_p R_*^3. \quad (3)$$

Они оказались близкими к определенным по измеренным величинами их магнитных полей. Это свидетельствует о применимости модели магнитосферной аккреции для магнитных звезд Хербига.

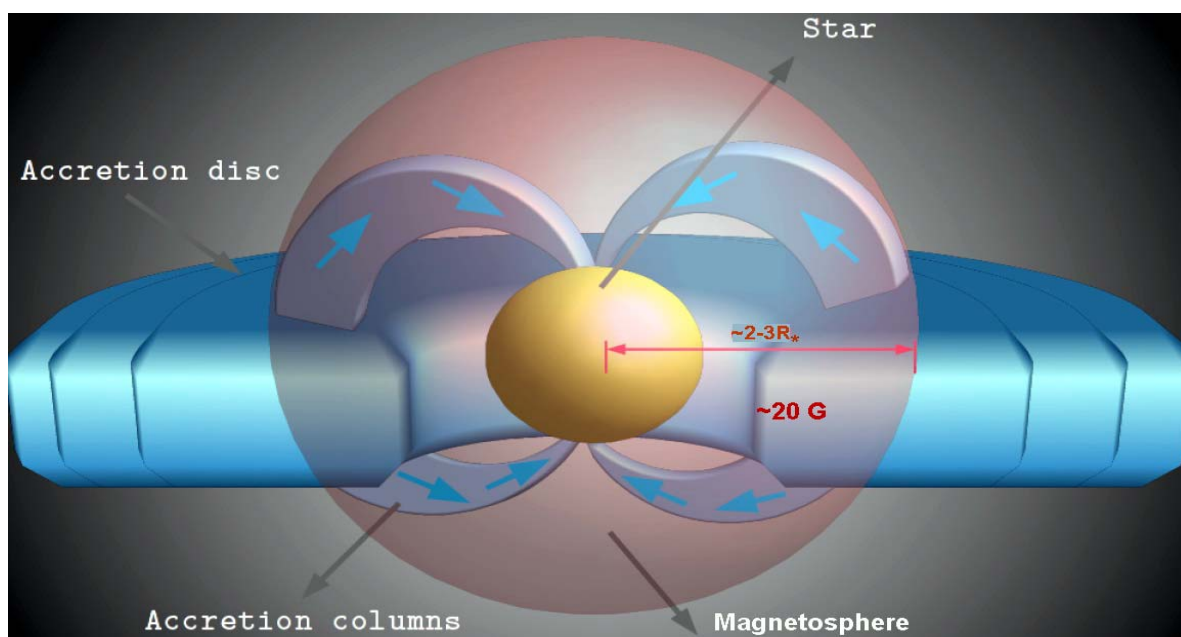


Рис. 2. Модель магнитосферной аккреции на звезду Т Тау [10], адаптированная для Ae/Be звезд Хербига.

Литература

1. *P.S. The, D. de Winter, M.R. Perez* // A&AS, 1994, **104**, 315.
2. *L.B.F.M. Waters, C. Waelkens* // ARA&A, 1998, **36**, 233.
3. *H.M. Günther, J.H.M.M. Schmitt* // A&A, 2009, **494**, 1041.
4. *H. Zinnecker, T. Preibisch* // A&A, 1994, 292, 152.
5. *Pogodin M., et al.* // Universe, 2021, **7**, 489.
6. *Guzman-Diaz J. Mendigutía I., Montesinos B., et al.*, VizieR Online Data Catalog, pp J/A+A/650/A182 (2021).
7. *Telleschi A., Güdel M., Briggs K.R., et al.* // A&A, 2007, 468, 425.
8. *C.M. Johns-Krull, J.A. Valenti, C. Koresko* // ApJ, 1999, **516**, 900.
9. *G.E. Romero, M.V. del Valle, J. Martí, P. Luque-Escamilla*, arXiv:1104.2916 (2011).
10. *A.F. Kholtygin, O.A. Tsiopa, E.I. Makarenko, I.M. Tumanova* // Astr. Bull., 2019, **74**, 293.