S E S 2 0 1 1
Seventh Scientific Conference with International Participation
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
29 November – 1 December 2011, Sofia, Bulgaria

ГЕНЕРИРАНЕТО НА КОРОНА СЛЕДСТВИЕ ОТ САМО – СТРУКТУРИРАНЕ НА МАГНИТНЕТИЗИРАН ДИСК

Красимира Янкова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: f7@space.bas.bg

Ключови думи: *акреция, диск,корона, неустойчивости*

***Абстракт**: Въз основа на резултатите за само-структуриране в горещ адвективен акреционен диск, заключаваме, че той развива корона. Ще дискутираме влиянието на разпределението на водещите параметри (плътност, скорост ...) в диска, за поддръжката на неустойчивостите във връзка с еволюцията на короната. В тази статия ще анализираме процеса на адаптация на уравненията на модела в новите условия.*

GENERATION OF CORONA IS CONSEQUENCE FROM SELF - STRUCTURING OF THE MAGNETIZE DISC

Krasimira Yankova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: f7@space.bas.bg

Keywords: *Accretion, disk's corona, instabilities*

Abstract: *Based on results for self-structuring in the hot advection accretion disk, we are concluding that he develop corona. We discuss the impact of the distribution of leading parameters (density, velocity ...) in disk to support for the instabilities in connection with evolution of the corona. In this paper we analyze the process of adaptation of the model's equations in the new conditions.*

Въведение

Акрецията представлява падане на материя от междузвездната среда върху гравитационен център. Тя ефективно преобразува масата на веществото в енергия. Ефективността и варира от 10% при сферична, до 30% от масата на покой на поглъщаното вещество при дискова акреция. Взаимодействието на диска с магнитното поле повишава допълнително ефективността до 50%. Механизмът е предложен за обяснение на високо-енергетичното поведение на голям процент космически обекти. В тях се развиват редица неустойчивости и структури, които управляват разпределението на енергията и намират израз в огромния брой нестационарни явления, които се наблюдават приоритетно във високите енергии.

При акреция на звезда с диполно магнитно поле се оформят три основни течения: диск, корона и джетове [1].

Взаимодействието на полето с плазмата създава предпоставки за появата на короната. Признак за наличието на корона е периодичната смяна на твърд и мек рентген в спектъра на такива източници. По-студеният диск дава мек, често пъти чернотелен рентгенов континуум, а горещата корона – твърд степенен емисионен рентгенов спектър [11].

Резултати

Тъй като акрецията е качествено и количествено е по ефективна при наличие на магнитно поле - възникват по бързо и се развиват по разнообразен набор неустойчивости. В поредица от статии ние конструирахме и развихме MHD модел на нестационарен, несиметричен, еднотемпературен Кеплеров акреционен диск с адвекция при нормално диполно магнитно поле на централния обект. Резултатите от предложения модел за изследване на взаимодействието на полето и плазмата в диска показват, че там се заражда и развива сферична лъчиста корона:

- ***Във вертикалната структура на диска проследяваме развитието на условието за стратификация*** $|v_a| \leq |v_s|$ ***и поведението на векторното поле на скоростта на течението*** (v_r, v_z) ***[3]. На базата на комплексното им разглеждане получаваме оценка за външният радиус на короната по диска.***
- ***В радиалната структура скоростта на звука дава индикации за формирането на пръстени с повишена плътност. В локалния модел за такова формирование е получено локалното загряване [5].***

$$K(x) = \frac{нагряването}{охлаждането}$$

От него също може да се направи независима оценка за външният радиус на короната по диска.

- ***Съпоставката в [6] на коефициентите на среща от глобалния модел с вълновите числа в локалния модел дава независимо потвърждение на идеята за зараждане на короната [3].***

База за сравнение

- *В термините на този модел беше получен външния радиус на короната на диска в системата Cyg X-1, който по стойността на оценката при съвпадение на обекта съответства на резултатите за сферична корона.*
- *Очакваният резултат при съгласуване на наблюдения, числени резултати и симулации варира от 15-250*R_g *[8] за сферична корона и до 320-640*R_g *за несферична [9]. Нашите резултати принадлежат към първият интервал.*
- *Добре е да се отбележи, че в този случай, ние разглеждаме, диск и корона, без обща енергетика.*
- *За да сшием в резултатите в цялостен модел на системата ще използваме изходните стойности на периметрите по повърхността на диска за начални стойности на периметрите в резултатните разпределения за короната.*

Освен това МП на обекта може да бъде собствено централно или външно (галактично; от донора). Ако собственото централно поле е разположено вертикално на равнината на диска, то момента в диска нараства навътре към центъра. Този ефект може да се компенсира от мощни джетове, които да отвеждат момент [7]. Но преди да достигне централната фуния преразпределящият се момент дава своето отражение върху преструктурирането на диска в качеството му на отворена система. Ускорената ротация освобождава завишени количества енергия и така създава условия за адвекция, подържайки отрицателен градиента на ентропията в диска. Ефекта се подсилва от частично задържане (забавяне) на акрецията вследствие такова разпределение на ъгловия момент. Адвекцията спомага за плавното превръщане на неустойчивостите в структури. Короната е макроструктура, която осигурява необходимото охлаждане във вътрешните региони на диска, където потокът най трудно излъчва. Там адвекцията нагнетява съхранената топлина от външните зони.

Постановка на задачата

Отново се базираме на основните уравнения на флуидната МХД (1). За да се конструира модел на короната е необходимо да се постави по общата задача, трябва да се адаптира системата на диска към новите условия.

Дискът често се апроксимира до Кеплеров. Течението в него е насочено към центъра и е локализирано в равнината на екватора. Материята може да е оптически плътна и преобладава газовото или лъчисто налягане [10]. Равновесието се подържа от ротацията.

Короната [2] може да има обратно течение, оптически прозрачна е и има магнитно налягане.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla .(\rho v) = 0 \qquad \nabla . v = 0 \qquad \nabla . B = 0$$

$$\Phi = \frac{GM}{r - r_g}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v.\nabla v = -\frac{1}{\rho}\nabla p - \nabla \Phi + (\frac{B}{4\pi\rho}.\nabla)B + \vartheta \nabla^2 v$$

$$\eta = \frac{\eta_m}{\rho} = \frac{c^2}{4\pi\sigma}$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times (v \times B) + \eta \nabla^2 B$$

$$\rho T \frac{\partial S}{\partial t} - \frac{\dot{M}}{2\pi r} T \frac{\partial S}{\partial r} = Q^+ - Q^- + Q_{mag} \qquad r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

(1) $p = p_r + p_g + p_m$

АДАПТАЦИЯТА

Поради специфичния, почти сферичен характер на потока, кинетичният вискозитет пада до нула, а плътността намалява на порядъци в короната.

Q_ν=0 ν=0 α =0

σ(r,)=>η(r,)=>α_m(r,)

(2) **σ(r,z)=>η(r,z)=>α_m(r,z)**

Слабото въртене не може да стабилизира неустойчивостите и ограниченията върху магнитният вискозен коефициент отпадат [4]:

(3)
$$\begin{aligned} \nabla \times (\eta \nabla \times B) &= \nabla\left[\eta \times \left(\nabla \times B\right)\right] = \\ &= \left(\nabla .\eta\right) \times \left(\nabla \times B\right) + \eta \times \left(\nabla .\nabla \times B\right) = \\ &= \left(\nabla .\eta\right) \times \left(\nabla \times B\right) ?\pm \eta \nabla^2 B \end{aligned}$$

Полето също не може да запази вече опростената си форма, валидна за екваторялната равнина и придобива вида:

(4)
$$\boldsymbol{B}_z = \frac{\mu}{\boldsymbol{r}^3} \frac{\sqrt{4\boldsymbol{r}^2 + \boldsymbol{z}^2}}{\left(\boldsymbol{r}^2 + \boldsymbol{z}^2\right)^2}$$

Тогава пълната адаптираната система в цилиндрични координати е:

(5)
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\rho v_r) + \Omega \frac{\partial \rho}{\partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial z}\left(\rho v_z\right) = 0$$

(6)
$$\frac{\partial}{\partial r}(rB_r) + \frac{\partial B_\varphi}{\partial \varphi} + r\frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

(7)
$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \Omega \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{4\pi\rho r}(B_\varphi \frac{\partial B_r}{\partial \varphi} + rB_z \frac{\partial B_r}{\partial z})$$

(8)
$$\frac{\partial}{\partial t}(\Omega r^2) + v_r \frac{\partial}{\partial r}(\Omega r^2) + v_z \frac{\partial}{\partial z}(\Omega r^2) = \frac{1}{4\pi\rho r}[B_r \frac{\partial}{\partial r}(r^2 B_\varphi) + r^2 B_z \frac{\partial B_\varphi}{\partial z}]$$

(9) $$\frac{\partial v_z}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_z}{\partial r}+\Omega\frac{\partial v_z}{\partial \varphi}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}-\frac{\partial \Phi}{\partial z}+\frac{B_r}{4\pi\rho}\frac{\partial B_z}{\partial r}$$

(10) $$\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{v_r}{r}+\frac{\partial v_z}{\partial z}=0 \qquad p=R\rho T+\frac{B^2}{8\pi}+\frac{aT^4}{3}$$

(11) $$\frac{\partial B_r}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \varphi}(v_r B_\varphi)-\frac{\partial}{\partial \varphi}(\Omega B_r)+\frac{\partial}{\partial z}(v_r B_z)-\frac{\partial}{\partial z}(v_z B_r)+\frac{\eta}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}\frac{\partial B_r}{\partial \varphi}+\frac{\partial}{\partial r}\frac{\partial B_\varphi}{\partial \varphi}\right]+$$
$$+\frac{\eta}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial B_r}{\partial r})+\frac{\eta}{r^2}\frac{\partial^2 B_r}{\partial \varphi^2}+\eta\frac{\partial^2 B_r}{\partial z^2}-\frac{B_\varphi}{r^2}\frac{\partial \eta}{\partial \varphi}-\frac{1}{r}\frac{\partial \eta}{\partial \varphi}\frac{\partial B_\varphi}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial \eta}{\partial \varphi}\frac{\partial B_r}{\partial \varphi}+$$
$$+\frac{\partial \eta}{\partial z}\frac{\partial B_r}{\partial z}-\frac{\partial \eta}{\partial z}\frac{\partial B_z}{\partial r}$$

(12) $$\frac{\partial B_\varphi}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial r}(\Omega r B_r)-\frac{\partial}{\partial r}(v_r B_\varphi)+\frac{\partial}{\partial z}(\Omega r B_z)-\frac{\partial}{\partial z}(v_z B_\varphi)+\frac{\eta}{r}\left[\frac{\partial}{\partial \varphi}\frac{\partial B_r}{\partial r}+\frac{\partial}{\partial \varphi}\frac{\partial B_\varphi}{\partial r}\right]+$$
$$+\frac{\eta}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r\frac{\partial B_\varphi}{\partial r})+\frac{\eta}{r^2}\frac{\partial^2 B_\varphi}{\partial \varphi^2}+\eta\frac{\partial^2 B_\varphi}{\partial z^2}+\left(\frac{\eta}{r}+\frac{\partial \eta}{\partial r}\right)\left[\frac{B_\varphi}{r}+\frac{\partial B_\varphi}{\partial r}-\frac{1}{r}\frac{\partial B_r}{\partial \varphi}\right]-$$
$$-\frac{\partial \eta}{\partial z}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial B_z}{\partial \varphi}-\frac{\partial B_\varphi}{\partial z}\right]$$

(13) $$\frac{\partial}{\partial r}(r v_r B_z)-\frac{\partial}{\partial r}(r v_z B_r)-\frac{\partial}{\partial \varphi}(v_z B_\varphi)-\frac{9\eta B_z}{r}-\left(\frac{\eta}{r}+\frac{\partial \eta}{\partial r}\right)\left[\frac{\partial B_r}{\partial z}-\frac{\partial B_z}{\partial r}\right]+$$
$$+\frac{1}{r}\frac{\partial \eta}{\partial \varphi}\left[\frac{1}{r}\frac{\partial B_z}{\partial \varphi}-\frac{\partial B_\varphi}{\partial z}\right]=0$$

(14) $$\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{3}{2}\frac{v_r v_s v_a^2}{\Omega r^2 T}=\frac{\eta v_s}{\Omega r T}\frac{1}{4\pi\rho}(\frac{\partial B_r}{\partial z}-\frac{\partial B_z}{\partial r})^2-\frac{c\rho}{\pi r T}(v_s^2-\frac{v_a^2}{2}-RT)$$

Основната модификация приложена към водещите периметри на диска е приложима и тук

(15) $$\boldsymbol{F}_i=\boldsymbol{F}_{i0}\Re_i(\boldsymbol{x}=\boldsymbol{r}/\boldsymbol{r}_0,\boldsymbol{Z}=\boldsymbol{z}/\boldsymbol{r}_0)\exp[\boldsymbol{k}_\varphi(\boldsymbol{x},\boldsymbol{Z})\varphi+\omega(\boldsymbol{x},\boldsymbol{Z})\boldsymbol{t}]$$

поради здравата причинно следствена връзка във физиката на системата корона-диск.

(16) $$v_r\frac{\partial \rho}{\partial r}+v_z\frac{\partial \rho}{\partial z}+\rho\left(\omega+k_\varphi\Omega\right)=0$$

(17) $$\frac{\partial B_r}{\partial r}=\mu z\frac{5r^2+z^2}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}}-\frac{B_r+k_\varphi B_\varphi}{r}$$

(18) $$v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+v_z\frac{\partial v_r}{\partial z}+v_r\left(\omega+k_\varphi\Omega\right)=-\frac{\partial v_s^2}{\partial r}-\frac{v_s^2}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial r}+\frac{k_\varphi B_\varphi B_r}{4\pi\rho r}+\frac{B_z}{4\pi\rho}\frac{\partial B_r}{\partial z}$$

$$v_r \frac{\partial}{\partial r}(\Omega r^2) + v_z \frac{\partial}{\partial z}(\Omega r^2) + (\Omega r^2)\omega = \frac{B_r}{4\pi\rho r}\frac{\partial}{\partial r}(r^2 B_\varphi) + \frac{B_z r}{4\pi\rho}\frac{\partial B_\varphi}{\partial z} \tag{19}$$

$$v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z\frac{\partial v_z}{\partial z} + v_z\left(\omega + k_\varphi\Omega\right) = -\frac{\partial v_s^2}{\partial z} - \frac{v_s^2}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial z} - \frac{\partial\Phi}{\partial z} + \frac{\mu B_r}{2\pi\rho r}\frac{z^4+5z^2r^2-2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}} \tag{20}$$

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \qquad \frac{aT^4}{3\rho} = v_s^2 - v_a^2/2 - RT \qquad \tau = \frac{\rho v_s}{\Omega}\chi \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
&B_r\left(\omega + \frac{\eta}{r^2} + \frac{\eta k_\varphi}{r^2} - \frac{2\eta k_\varphi^2}{r^2} + k_\varphi\Omega\right) = \left(\frac{k_\varphi v_r}{r} - \frac{\eta k_\varphi^2}{r^2} - \frac{2k_\varphi\eta}{r^2}\right)B_\varphi - \\
&-\left(\frac{\eta}{r} + \frac{\eta k_\varphi}{r} - v_r\right)\frac{\mu z(5r^2+z^2)}{(r^2+z^2)^3\sqrt{4r^2+z^2}} + B_z\frac{\partial v_r}{\partial z} - v_z\frac{\partial B_r}{\partial z} - B_r\frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{B_r+B_z}{r}\eta\frac{\partial k_\varphi}{\partial r} + \\
&+\eta\frac{\partial^2 B_r}{\partial r^2} + \eta\frac{\partial^2 B_r}{\partial z^2} + \frac{\partial\eta}{\partial z}\left[\frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{2\mu}{r}\frac{z^4+5z^2r^2-2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}}\right]
\end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
&B_\varphi\left(\omega - \frac{\eta}{r^2} - \frac{v_r}{r} + k_\varphi\Omega\right) = \left(\frac{3\Omega r}{2\left(r-r_g\right)} - \frac{2k_\varphi\eta}{r^2}\right)B_r + \frac{\eta k_\varphi \mu z(5r^2+z^2)}{r(r^2+z^2)^3\sqrt{4r^2+z^2}} + \\
&+\Omega B_z + rB_z\frac{\partial\Omega}{\partial z} + \left(\frac{2\eta}{r} + \frac{\eta k_\varphi}{r} - v_r\right)\frac{\partial B_\varphi}{\partial r} - v_z\frac{\partial B_\varphi}{\partial z} + \frac{\partial\eta}{\partial z}\frac{\partial B_\varphi}{\partial z} + \\
&+\eta\frac{\partial^2 B_\varphi}{\partial r^2} + \eta\frac{\partial^2 B_\varphi}{\partial z^2} + \frac{\partial\eta}{\partial r}\left[\frac{B_\varphi - k_\varphi B_r}{r} + \frac{\partial B_\varphi}{\partial r}\right]
\end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
&v_rB_z + rB_z\frac{\partial v_r}{\partial r} + \left[2\mu v_r + \frac{2\mu\eta}{r^2} + \frac{2\mu}{r}\frac{\partial\eta}{\partial r}\right]\frac{z^4+5z^2r^2-2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}} - v_zB_r - rB_r\frac{\partial v_z}{\partial r} - rv_z\frac{\partial B_r}{\partial r} - \\
&-k_\varphi v_z B_\varphi - \frac{9\eta B_z}{r} - \frac{\eta}{r}\frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{\partial\eta}{\partial r}\frac{\partial B_r}{\partial z} + \frac{\eta k_\varphi}{r}\frac{\partial B_\varphi}{\partial z} = 0
\end{aligned} \tag{24}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{3}{2}\frac{v_r v_s v_a^2}{\Omega r^2 T} = \frac{\eta v_s}{\Omega r T}\frac{1}{4\pi\rho}\left(\frac{\partial B_r}{\partial z} - \frac{2\mu}{r}\frac{z^4+5z^2r^2-2r^4}{\left(r^2+z^2\right)^3\sqrt{4r^2+z^2}}\right)^2 - \frac{c\rho}{\tau r T}\left(v_s^2 - \frac{v_a^2}{2} - RT\right) \tag{25}$$

Тази система след подходящо обезразмеряване вече може да се подложи на числено третиране.

Очаквани резултати

Разработен е модел за изследване магнито-хидродинамиката на адвективен акреционен диск. Очаква се да се изгради адекватно допълнение - модел за еволюцията на короната които да третира и механизмите на авто-структуриране в системата диск-корона.

Да се изучава генерирането на короната, като се разкрие влиянието, което оказват разпределението на ентропията и развитието на адвекция върху енергетиката (индивидуална за компонентите или обща) на системата диск-корона.

Да се проследи и изследва зараждането на неустойчивости в дисковата корона.

Литература:

1. H a w l e y, J. F., S. A. B a l b u s (2002), AJ, 573, 749,
2. I a n k o v a, K r. D., L.G., F i l i p o v, Publ.Astron.Obs.Belgrade No74 (2002).
3. I a n k o v a, K r., " Evinces of interaction of flow in disk with magnetic field'", 5th Bulgarian-Serbian Conference (V BSCASS) Heron Press Ltd. Science series, 2007, pp 326-29, *http://aquila.skyarchive.org/5_BSCASS/create/presentations/ Iankova.pdf*
4. I a n k o v a, K r. D., L.G., F i l i p o v, "Modification equations of disk for magnetic corona", SRI-BAS, ISSN 1313-3888, 2008, pp 88-91,. *http://www.space.bas.bg/SENS-2007/1-16.pdf*
5. I a n k o v a, K r., ''Stability and evolution of magnetic accretion disk", Publ. Astr. Soc. "Rudjer Boљkovi ", No. 9, 2009, pp 327-333. *http://aquila.skyarchive.org/6_SBAC/pdfs/31.pdf*
6. I a n k o v a, K r., "Theoretical modeling of accretion discs. Correlation of the global coefficients with the distributions of local wave numbers in the disc", International Conference MSS-09" Mode Conversion, Coherent Structures And Turbulence", ISBN978-5-9710-0272-7, Moscow,2009, pp 409-414.
7. K u n c i c, Z d., G.V. B i c k n e l l, *arXiv: astro-ph/0402421v1*, 18Feb, 2004.
8. N o v a k, M. A., J. W i l m s, B. V a n g h a n, J. D o v e, M. B e g e l m e n i (1999), AJ 515 726-737.
9. P o t t s c h I d t, K., M. K o n I g, J. W i l m s, R. S t a n b e r t (1998), A&A.
10. R e y n o l d s, C., MHD of the inner regions of BH accretion disks, *preprint*.
11. R o m a n o v a, M. M., G. V. U s t y u g o v a, A. V. K o l d o v a, J. V. W i c k, L o v e l a c e R.V.E., 2004, "THREE-DIMENSIONAL SIMULATIONS OF DISK ACCRETION TO INCLINED DIPOLE:I", *preprint*.
12. S p r u l t, H. C., B. D e u f e l, C. P. D u l e m o n d, Hot and very hot gas around black holes, *http://www.mpa-garching.mpg.de/HIGHLIGHT/2001/highlight0110_e.html.*