



О механизме течения вещества в полярах

Н.Г. Бескровная^{1*}, Н.Р. Ихсанов^{1,2} и В.Ю. Ким^{1,3}

¹ГАО РАН, ²ИПА РАН, ³АФИФ, Казахстан

Поступила в редакцию 15 сентября 2024 / Принята к публикации 18 сентября 2024

Аннотация

Обсуждаются возможные варианты структуры течения газа между компонентами маломассивных двойных систем, проявляющих себя как поляры. В ситуации, когда течение газа через точку L1 оказывается заблокированным сильным магнитным полем белого карлика, одним из возможных сценариев обмена массой между компонентами системы является формирование магнитных каналов, образованных вследствие перезамыкания силовых линий магнитных полей белого и красного карликов. Представлены оценки плотности газа в магнитных каналах и темпа обмена массой между компонентами системы, реализуемого в рамках такого сценария.

ключевые слова: аккреция, катаклизмические переменные, поляры, магнитные поля, индивидуальные: AM Her

1 Введение

В предыдущей статье (Ихсанов и др., 2023) мы обратили внимание на эффект “магнитосферного клапана”, который, при определенных условиях, может ограничивать течение газа через точку L1 в маломассивных двойных системах. Учитывать этот эффект в исследованиях структуры течения газа следует, прежде всего, в компактных системах с белым карликом, обладающим сильным магнитным полем. Именно к объектам такого типа относятся поляры, являющиеся подклассом магнитных взрывных (катаклизмических) переменных. Орбитальный период, P_{orb} , большинства из них не превосходит нескольких часов, а магнитное поле на поверхности белого карлика, B_{wd} , достигает десятков и сотен мегагауссов. Давление, создаваемое магнитосферой белого карлика в области точки L1, в этом случае оказывается больше давления газа, истекающего от красного карлика, если орбитальный период системы удовлетворяет условию $P_{\text{orb}} \leq P_0$, где (Ихсанов и др., 2023)

$$P_0 \simeq 2.2 \text{ hr} \times \mu_{34}^{1/2} \dot{M}_{15}^{-1/4} \sigma_9^{1/2} c_6^{-1/4} \times \left[\frac{1}{[0.5 - 0.227 \log q][(1 + q)M(1)]^{1/3}} \right]^{3/2}. \quad (1)$$

Здесь μ_{34} – дипольный магнитный момент белого карлика, $\mu = (1/2)B_{\text{wd}}R_{\text{wd}}^3$, в единицах 10^{34} Гс см^3 и \dot{M}_{15} – темп аккреции на белый карлик радиуса R_{wd} и массы M_{wd} , оцениваемый по наблюдаемой светимости аккреционного источника, $L_a = \dot{M}GM_{\text{wd}}/R_{\text{wd}}$, в единицах 10^{15} г с^{-1} . Через параметр σ_9 мы обозначаем радиус сечения горловины точки L1 в единицах 10^9 см и c_6 – скорость звука, c_s , в газе, расположенном в точке L1, в единицах 10^6 см с^{-1} . Наконец, через $q = M(2)/M(1)$ обозначено отношение масс красного, $M(2)$, и белого, $M(1)$, карликов, выраженные в массах Солнца.

*e-mail:beskrovnaya@yahoo.com

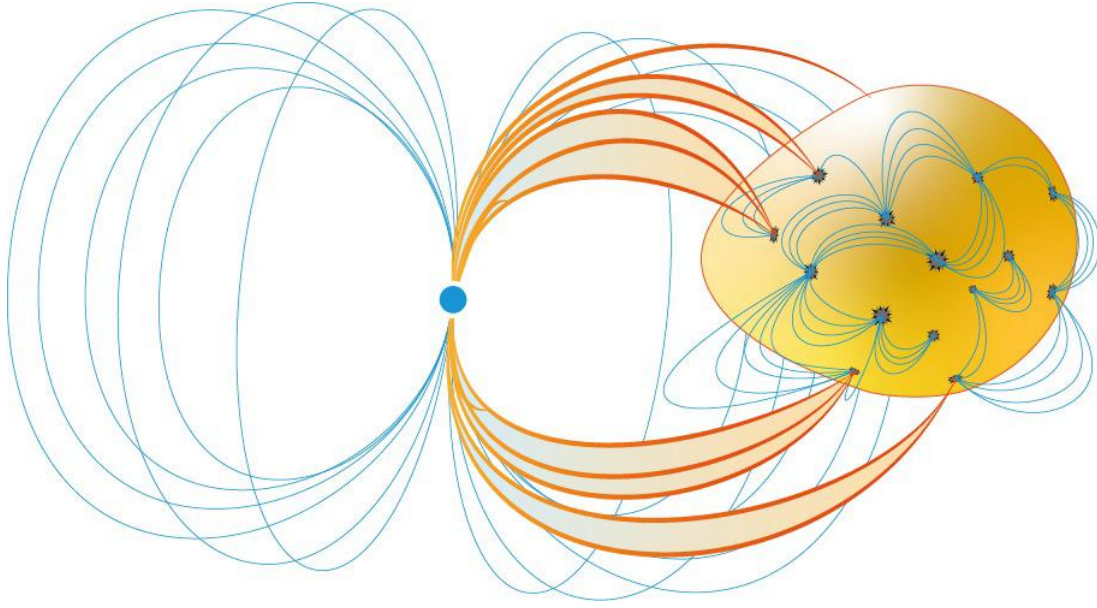


Рис. 1: Схема обмена массой в полях в сценарии “магнитных каналов”

При условии $P_{\text{orb}} < P_0$ “магнитосферный клапан” в точке L1 закрыт. Это условие выполняется, в частности, для наиболее полно исследованного поляра АМ Геркулеса, в котором (при $q = 0.35$ и $M(1) = 0.8$) критическое значение периода,

$$P_0(\text{АМ Гер}) \simeq 4.5 \text{ hr} \times \mu_{34}^{1/2} \sigma_9^{1/2} \dot{M}_{15}^{-1/4} c_6^{-1/4}, \quad (2)$$

превосходит орбитальный период системы даже в состоянии наиболее высокой светимости аккреционного источника.

Этот результат указывает на целесообразность исследования альтернативных сценариев обмена массой между компонентами этой системы, в частности, и в ряде других систем, в которых условие закрытия магнитосферного клапана также оказывается выполненным. Один из таких сценариев, основанный на гипотезе формирования магнитных каналов вследствие перезамыкания силовых линий магнитных полей белого и красного карликов, мы обсуждаем в следующем параграфе и приводим наши основные выводы в параграфе 3.

2 Сценарий магнитных каналов

Мы рассматриваем тесную маломассивную двойную систему, состоящую из магнитного белого карлика и красного карлика, заполняющего (или почти заполняющего) свою полость Роша. Мы предполагаем, что орбитальный период системы удовлетворяет условию $P_{\text{orb}} < P_0$ и, соответственно, движение газа через точку L1 подавлено магнитосферой белого карлика. Обмен массой между компонентами системы в этом случае может происходить вследствие перезамыкания силовых линий магнитного поля белого карлика с силовыми линиями магнитного поля активных областей красного карлика (см. Рисунок). Это приводит к формированию “магнитных каналов”, соединяющих атмосферу красного карлика с поверхностью белого карлика. Плазма в атмосфере красного карлика, в замороженная в магнитное поле канала, движется вдоль его силовых линий в направлении на белый карлик в режиме свободного падения.

Одним из необходимых (но недостаточных) условий реализации такого сценария является превышение магнитной энергии канала над динамическим давлением текущего по нему газа,

$$\rho_f(r_{L1}) v_{ff}^2(r_{L1}) \leq \frac{\mu^2}{2\pi r_{L1}^6}. \quad (3)$$

Здесь r_{L1} – расстояние от центра белого карлика до точки L1, $\rho_f(r_{L1})$ – плотность газа, текущего в канале на расстоянии r_{L1} и $v_{ff}(r_{L1}) = \sqrt{2GM_{wd}/r_{L1}}$ – скорость свободного падения газа на белый карлик на расстоянии r_{L1} . Решая это неравенство относительно плотности газового потока для параметров АМ Геркулеса, находим $\rho_f \leq \rho_0$, где

$$\rho_0 \simeq 7.4 \times 10^{-13} \text{ г см}^{-3} \times \mu_{34}^2 m^{-1} \left(\frac{r_{L1}}{4.65 \times 10^{10} \text{ см}} \right)^{-5}, \quad (4)$$

соответствует равенству в выражении (3). Здесь m – масса белого карлика в единицах $0.8 M_{\odot}$.

Полученный нами верхний предел плотности газа указывает, что область заполнения магнитного канала расположена в области верхней хромосферы красного карлика. Темп обмена массой между компонентами системы в этом случае удовлетворяет неравенству $\dot{M} \leq \dot{M}_0$, где

$$\dot{M}_0 \simeq \rho_0 v_{ff}(r_{L1}) S_0(r_{L1}) \simeq 5 \times 10^{15} \text{ г с}^{-1} \times \left(\frac{\rho_0}{7.4 \times 10^{-13} \text{ г см}^{-3}} \right) \left(\frac{v_{ff}(r_{L1})}{6.6 \times 10^7 \text{ см с}^{-1}} \right) \left(\frac{S_0}{10^{20} \text{ см}^2} \right). \quad (5)$$

Здесь S_0 – интегральная площадь сечения магнитных каналов в области их формирования в атмосфере красного карлика в окрестности точки L1.

Полученная нами величина \dot{M}_0 соответствует темпу обмена массой, оцениваемому по светимости аккреционного источника в системе АМ Геркулеса в момент ее верхнего (наиболее яркого) состояния.

3 Заключение

Представленные нами оценки позволяют заключить, что верхний предел светимости аккреционного источника в полярных с закрытым состоянием “магнитосферного клапана” в точке L1 зависит, прежде всего, от величины дипольного магнитного момента белого карлика и орбитального периода двойной системы. Верхний предел темпа течения газа в системе АМ Геркулеса, полученный в предположении о закрытом состоянии “магнитосферного клапана”, согласуется с оценкой темпа аккреции на белый карлик в периоды высокого состояния этой системы. Полученное нами значение плотности газа в магнитном канале указывает, что область формирования магнитного канала вследствие перезамыкания силовых линий магнитных полей белого и красного карликов расположена в области верхней хромосферы.

Одним из преимуществ сценария “магнитных каналов” является возможность объяснения наблюдаемой переменности аккреционного источника (по интенсивности и по координатам аккреционной колонки) в полярных терминах магнитной активности красного карлика. Изменение числа и координат активных областей на поверхности красного карлика в этом сценарии неминуемо отразится на параметрах аккреционного источника. Более детально этот процесс будет рассмотрен в последующих статьях.

Список литературы

Ихсанов, Н.Р., Ким В.Ю. и Королькова, О.А. (2023). Эффект “магнитосферного клапана” в полярных. Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулкове 228, с. 118–123.

On the mass transfer in polars

N.G. Beskrovnaya¹, N.R. Ikhsanov^{1,2} and V.Yu. Kim^{1,3}

¹ The Central Astronomical Observatory of the RAS at Pulkovo, ² The Institute of Applied Astronomy of the RAS, ³ Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

Received 15 September 2024 / Accepted 18 September 2024

Abstract

We discuss possible structure of the gas flow between the components of low-mass binaries which manifest themselves as polars. If a strong magnetic field of the white dwarf prevents material from flowing through the L1 point, the mass-exchange between the system components can be realized through magnetic channels formed due to reconnection of the field lines of the white dwarf and the red dwarf magnetic fields. We estimate the gas density in the magnetic channels and the mass transfer rate between the system components within this scenario.

key words: accretion, cataclysmic variables, polars, magnetic fields, Individual: AM Her