

МАГНИТО-ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ КРАСНЫХ КАРЛИКОВ В ПОЛЯРАХ

Ихсанов Н.Р.¹, Пустильник Л.А.², Бескровная Н.Г.¹

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Тель-Авивский университет, Тель-Авив, Израиль

MAGNETO-FLARING ACTIVITY OF RED DWARFS IN POLARS

Ikhsanov N.R.¹, Pustil'nik L.A.², Beskrovnaya N.G.¹

¹The Central Astronomical Observatory of RAS at Pulkovo, St. Petersburg, Russia

²Tel-Aviv University, Tel-Aviv, Israel

Polars represent a subclass of magnetic cataclysmic variables with highly polarized optical emission. They are close interacting binary systems composed of a red dwarf and a strongly magnetized white dwarf. The red dwarf overflows its Roche lobe and transfers material to its companion in accordance with a so called channeling accretion scenario. The system emission is dominated by radiation of the accretion-powered source and can be observed in all parts of the spectrum from radio to X-rays. Variations of the emission parameters reflect variations of the mass-transfer rate in the system which can be associated with the activity of the red dwarf. We suggest a scenario in which the mass-transfer between the system components occurs through the magnetic channels formed in the process of reconnection of the magnetic field of the white dwarf to the magnetic field of the active regions on the red dwarf. The channels in this case are connecting the chromosphere of the red dwarf with the surface of the white dwarf close to its magnetic pole regions. Polars within this scenario appear as natural laboratories for studying the magneto-flaring activity of red dwarfs.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-135-138>

Поляры являются одним из подклассов магнитных взрывных переменных звезд. Это тесные двойные системы, состоящие из красного и белого карликов. Красный карлик заполняет (или почти заполняет) свою полость Роша, что способствует усилению его звездного ветра и создает благоприятные условия для интенсивного обмена массой между компонентами системы с темпом, на несколько порядков превосходящим темп истечения солнечного ветра. Механизм обмена массой между компонентами системы в полярах имеет ряд особенностей и принципиально отличается от типичной картины обмена массой, реализуемой в большинстве остальных систем с вырожденными звездами. В частности, сферические или квазисферические баллистические потоки газа, равно как и аккреционные диски, в полярах не наблюдаются. Напротив, движение газа в этих системах происходит в форме струи или системы струй, берущих свое начало в атмосфере красного карлика и достигающих поверхности белого карлика в области его магнитных полюсов. Такая картина движения газа в двойной системе получила название каналированной аккреции. Факторами, способ-

ствующими ее реализации, являются как сильное магнитное поле белого карлика, величина которого на его поверхности достигает десятков и сотен миллионов гаусс, так и относительно близкое взаимное расположение компонентов в системах, орбитальные периоды которых в большинстве случаев находятся в диапазоне 1–5 часов. Кроме того, осевое вращение обеих звезд в большинстве полярных синхронизовано с орбитальным (т.е. периоды осевого вращения красного и белого карликов равны между собой и соответствуют орбитальному периоду системы). Течение газа в системе при этих условиях оказывается под полным контролем магнитного поля белого карлика и происходит в форме газовых струй,двигающихся вдоль силовых линий его дипольного магнитного поля. В результате наблюдаемое излучение полярных областей оказывается суперпозицией излучения, по крайней мере, четырех пространственно-разделенных источников: (1) красного карлика (тепловое излучение хромосферы и атмосферы с эпизодической добавкой спорадического излучения активных областей), (2) белого карлика (тепловое излучение с поверхности, за исключением полярных областей), (3) газа, перетекающего между красным и белым карликами (в форме одного или нескольких газовых потоков) и (4) газа в основании аккреционной колонки, нагретого в ударной волне, образованной в ходе его падения на поверхность белого карлика. Интенсивность двух последних из перечисленных выше источников напрямую связана с темпом обмена массой между компонентами и, соответственно, темпом аккреции газа на поверхность белого карлика. Изменение темпа течения вещества в системе в свою очередь определяется темпом потери массы красным карликом, который, помимо параметров системы, зависит от его активности и конфигурации магнитного поля в окрестности первой точки либрации системы (точки L1). Вариации этих параметров в первую очередь определяют изменения базовых параметров излучения системы: интенсивности, спектра и поляризации. Вследствие этого полярные области могут рассматриваться как естественные лаборатории, в которых белый карлик, зондируя потоки газа со своего компаньона, позволяет нам получать информацию об интенсивности и композиции звездного ветра красного карлика и изменениях этих параметров, вызванных его магнито-вспышечной активностью.

Поляры, как подкласс магнитных взрывных (катаклизмических) переменных, были идентифицированы и получили свое название без малого полвека назад. Прототипом этого подкласса выступает переменная звезда AM Геркулеса, исследования фотометрической переменности которой начались в 1924 году. Спустя чуть более полувека (в 1976–1977 годах) она была идентифицирована с переменным рентгеновским источником и разрешена как спектрально-двойная система с орбитальным периодом 3.09 часа, в составе которой белый карлик соседствует с красным карликом класса M4.5V. Наиболее интригующими оказались, однако, результаты по-

ляриметрических наблюдений. Линейная поляризация оптического излучения системы плавно менялась с орбитальным периодом системы от нуля до 7%, а круговая поляризация – от -9% до +3%. Дальнейшие исследования показали, что источник рентгеновского и поляризованного оптического излучения имеет аккреционную природу и расположен вблизи магнитных полюсов белого карлика, период осевого вращения которого совпадает с орбитальным периодом системы, а величина магнитного поля на поверхности составляет 14–20 МГс. Именно вследствие высокой степени поляризации оптического излучения АМ Геркулеса и подобные ей системы получили название «Поляров» (более подробное обсуждение характеристик полярных приведено в книге [1]). В настоящее время список объектов, идентифицированных или заподозренных в принадлежности к подклассу полярных, насчитывает без малого пара сотен, большинство из которых, однако, остаются изучены весьма неполно [2].

Исследование процесса обмена массой между компонентами в полярных, представленное в работе [3], показывает, что давление, создаваемое магнитным полем белого карлика в точке L1, оказывает существенное препятствие свободному истечению газа от красного карлика в окрестности этой точки. Учет этого обстоятельства в большинстве известных на сегодня систем исключает возможность баллистического течения газа в полости Роша белого карлика и, таким образом, указывает на полный контроль процесса аккреции со стороны его магнитного поля. Другими словами, реализуется ситуация, при которой размер магнитосферы белого карлика оказывается сопоставим с размерами двойной системы [4]. Обмен массой между компонентами системы в такой ситуации может происходить лишь вследствие диффузии газа в магнитное поле белого карлика непосредственно в области его прямого контакта с атмосферой красного карлика и формирования, таким образом, прямого магнитного канала, полностью погруженного в магнитосферу белого карлика.

Условиями реализации описанного выше сценария являются (а) достаточно высокий темп диффузии газа в магнитное поле белого карлика на границе его магнитосферы и (б) достаточно высокая плотность газа в области диффузии, обеспечивающая высокий темп обмена массой, необходимый для объяснения аккреционного источника. Ограничение на плотность газа в потоке накладывается, однако, условием устойчивости магнитного канала, предполагающим, что плотность магнитной энергии в области течения газа превосходит динамическое давление последнего.

Оценки, выполненные в работе [5] с учетом этих обстоятельств, показывают, что для параметров АМ Геркулеса проникновение газа в магнитосферу белого карлика происходит, по-видимому, в области хромосферы красного карлика. Концентрация газа на границе магнитосферы оказывается порядка $10^{12} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$, а темп проникновения соответствует темпу ано-

мальной диффузии, обусловленной процессом перезамыкания силовых линий магнитного поля и турбулентностью газа на границе магнитосферы.

Наиболее благоприятные условия для эффективного проникновения газа в магнитосферу белого карлика в сценарии, рассмотренном в этих работах, достигаются в активных областях красного карлика с конфигурацией магнитного поля, благоприятной для процесса перезамыкания его силовых линий (случай контакта линий противоположной полярности) и высоким темпом энерговыделения, способствующим нагреву и турбулизации газа. В рамках такого сценария переменный характер блеска полярных областей оказывается возможным объяснить в терминах магнито-вспышечной активности красного карлика. Амплитуда фотометрической переменности систем, достигающая нескольких звездных величин, указывает, что темп обмена массой в системе и, соответственно, темп потери массы красным карликом эпизодически меняется более чем на порядок величины. Временные характеристики переменности блеска системы и, в частности, длительность фаз высокого состояния (т.е. наиболее высокой светимости) и низкого состояния сильно меняются от системы к системе. Однако, многочисленные эпизоды перехода между низким и высоким состоянием, происходящие на масштабе времени нескольких дней, вызывают большие сомнения в возможности их интерпретации в терминах вариаций параметров двойной системы и свидетельствуют в пользу сценария вспышечной активности красного карлика. Данный сценарий оказывается наиболее перспективным и в плане интерпретации супервспышек, наблюдаемых от некоторых полярных [2]. Вопрос о цикличности вспышек на временах, существенно превышающих орбитальный период системы, до настоящего времени остается открытым.

Литература

1. Warner, B. Cataclysmic Variable Stars. – 2003, p. 1–596.
2. Qishan, W., Xiajhui, F., Shengbang, Q. // *ApJ*, 2024, 965:181 (8pp).
3. Ихсанов Н.Р., Ким В.Ю., Королькова О.А. // *Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулкове* № 228, 2023, сс. 118–123.
4. Бескровная Н.Г., Ихсанов Н.Р. // *Научные труды ИНАСАН*, 2023, том 8, вып. 5, сс. 237–240.
5. Бескровная Н.Г., Ихсанов Н.Р. и Ким В.Ю. // *Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулкове* № 234, 2024, сс. 1–4.