



Оценка эффективности механизма пропеллера по наблюдаемым параметрам процесса истечения газа в тесной двойной системе АЕ Водолея

Н.Р. Ихсанов^{1,2}, Н.Г. Бескровная¹

¹ГАО РАН, ²ИПА РАН

Поступила в редакцию 13 октября 2025 / Принята к публикации 15 октября 2025

Аннотация

Обсуждаются величины параметров процесса истечения газа из тесной двойной системы АЕ Водолея, содержащей в своем составе магнитный белый карлик, вращающийся с периодом около 33 секунд. Приводятся аргументы в пользу сценария, в котором истечение газа ассоциируется с эффектом пропеллера. Показано, что момент силы, приложенной к белому карлику в результате эффекта пропеллера, не превосходит величины $\dot{\mathcal{M}} v_{\text{esc}}^2(r_0)$, где $\dot{\mathcal{M}}$ – темп течения газа в системе и $v_{\text{esc}}(r_0)$ – скорость истечения газа в области его взаимодействия с магнитосферой, расположенной на расстоянии r_0 от центра белого карлика. Отмечается, что популярные в литературе оценки тормозящего момента силы, в частности, $\dot{\mathcal{M}} \omega_s r_0^2$ и μ^2/r_{cor}^3 , в рассматриваемом нами случае приводят к переоценке эффективности механизма пропеллера по сравнению с наблюдаемой на несколько порядков величины (здесь ω_s – угловая скорость вращения белого карлика, μ – его дипольный магнитный момент и r_{cor} – радиус короткодействия). Кратко обсуждаются возможные причины выявленного нами несоответствия между ожидаемой и наблюдаемой эффективностью механизма пропеллера и адекватность принятой картины течения вещества в АЕ Водолея.

ключевые слова: тесные двойные системы, магнитные поля, звезды: катализмические переменные, звезды: индивидуальные: АЕ Водолея

Введение

АЕ Водолея является тесной маломассивной двойной системой, параметры которой приведены в таблице. Исследования этого объекта продолжаются уже более 90 лет, за которые он был неоднократно переквалифицирован из одной категории астрофизических источников в другую. В настоящее время АЕ Водолея принято относить к разряду магнитных взрывных (катализмических) переменных, подклассу промежуточных поляров. Подобно объектам этого подкласса она состоит из красного карлика (нормального компонента), заполняющего свою полость Роша и теряющего вещество в тепловой шкале времени в форме струи через точку L1, и магнитного белого карлика (вырожденного компонента), который вращается с периодом, существенно меньшим орбитального периода системы. На этом сходство АЕ Водолея с промежуточными полярами, однако, заканчивается. Вещество, исходно текущее в направлении белого карлика, не только не достигает его поверхности и не формирует аккреционный диск, но покидает систему с темпом, соответствующим обмену массой вещества в полуразделенной системе в тепловой шкале времени. Белый карлик, входящий в состав АЕ Водолея, вращается с чрезвычайно коротким периодом (около 33 секунд) и находится в состоянии быстрого торможения своего вращения. С учетом того, что темп потери его вращательной энергии оказывается превосходящим болометрическую светимость системы во всем диапазоне электромагнитного спектра от радио до рентгена, наблюдаемый

*e-mail: beskrovnaya@yahoo.com

Таблица 1: Параметры АЕ Водолея
(см. [Beskrovnaya and Ikhsanov \(2024\)](#) и приведенную там литературу)

Параметр	АЕ Водолея
Расстояние	100 пк
Орбитальный период	9.9 ч
Эксцентриситет	~ 0
Размер системы	2×10^{11} см
Состав системы	K4 IV + WD
Темп течения массы в системе	$10^{-8} - 10^{-9} M_{\odot}$ год $^{-1}$
БК: масса (M_{wd})	$0.8 - 1.2 M_{\odot}$
БК: радиус (R_{wd})	$0.01 R_{\odot}$
БК: период вращения (P_s)	33.08 с
БК: темп торможения вращения (\dot{P}_s)	5.6×10^{-14} с с $^{-1}$
БК: темп потерь вращательной энергии (L_{sd})	$(6 - 10) \times 10^{33}$ эрг/с
БК: дипольный магнитный момент	$(1 - 2) \times 10^{34}$ Гс см 3
БК: поверхностное магнитное поле	50 – 100 МГс
БК: время торможения ($P_s/2\dot{P}_s$)	2×10^7 лет
БК: температура поверхности	12 000 К
БК: возраст (время остывания)	10^9 лет
БК: температура полярных шапок	26 000 К
БК: радиус полярных шапок	$0.15 R_{\text{wd}}$
БК: угол наклона магнитной оси к оси вращения	$74^{\circ} - 76^{\circ}$

тепп возрастания периода его вращения удается объяснить лишь в рамках пульсарного механизма при условии, что магнитное поле на его поверхности имеет величину 50 – 100 МГс ([Ikhsanov, 1998](#)).

В следующем параграфе мы кратко суммируем информацию об основных характеристиках излучения АЕ Водолея, наблюдаемых в оптическом и рентгеновском диапазонах. Анализ этой информации приводит нас к картине, в которой течение вещества в системе оказывается обусловленным, прежде всего, эффектом пропеллера, т.е. определяется взаимодействием между потоками газа и быстро вращающейся магнитосферой белого карлика (подробное описание свойств системы приведено в работе [Ikhsanov & Beskrovnaya, 2012](#), и приведенной там литературе). Предложенные к настоящему времени варианты моделирования такого взаимодействия и следующие из них оценки момента силы, приложенной к белому карлику, мы обсуждаем в параграфе 2. Основные выводы нашего обсуждения кратко суммированы в разделе 3.

1 Картинна течения газа в АЕ Водолея

Основным отличительным свойством АЕ Водолея является необычна вспышечная активность. Параметры наблюдаемого излучения позволяют утверждать, что активность системы не связана с процессами, происходящими на белом или красном карлике. Напротив, в системе присутствует дополнительный источник, расположенный в пространстве между или/и в окрестности полости Рона белого карлика и ассоциированный с газовыми потоками, двигающимися в этих частях системы.

Основную часть времени, более 60% от общего времени наблюдений, АЕ Водолея демонстрирует бурную вспышечную активность, временами переходя в спокойное состояние без какой-либо определенной промежуточной фазы. Вспышки происходят сериями продолжительностью от

нескольких десятков минут до часа и включают в себя пакеты коротких вспышек, длительностью 5–10 минут (характерное время нарастания блеска в которых составляет 1–2 минуты), зачастую накладывающихся друг на друга. Активность системы наблюдается почти во всех частях электромагнитного спектра от радио до рентгена. При этом вспышки, наблюдаемые в оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, коррелируют между собой и не коррелируют со вспышками, наблюдаемыми в радиодиапазоне, хотя последние имеют похожую временную структуру. Наибольшей интенсивности излучение вспышек достигает в ультрафиолетовой области спектра, почти на порядок превосходя интенсивность наблюдаемого рентгеновского излучения. Цветовые характеристики излучения системы позволяют утверждать, что переход источника в активную фазу связан, преимущественно, с увеличением площади (объема) газа, нагретого до температуры $11\,000 - 16\,000$ К (см. Beskrovnaya et al., 1996, и приведенную там литературу). Вспышки в континууме обычно сопровождаются ростом интенсивности и уширением профиля эмиссионных линий в оптической и ультрафиолетовой областях спектра и ростом интенсивности рентгеновского излучения, размер источника которого более чем на порядок превосходит радиус белого карлика (Itoh et al., 2006).

Исторически АЕ Водолея рассматривалась как необычная новоподобная звезда, переменность блеска которой обусловлена нестационарной аккрецией газа на поверхность белого карлика, окруженного кеплеровским аккреционным диском. Первые сомнения в справедливости такой картины течения газа были высказаны в работах van Paradijs et al. (1989) и Bruch (1991), где отмечалось, что вклад дополнительного источника, связанного с течением газа, в общее излучение системы существенно меньше ожидаемого в системах с развитой дисковой аккрецией. Необходимость более существенной ревизии картины течения в системе стала очевидной после публикации статьи de Jager et al. (1994), в которой было показано, что белый карлик в АЕ Водолея находится в состоянии быстрого торможения и не показывает каких-либо признаков аккреции вещества на свою поверхность. Наконец, анализируя спектральные наблюдения АЕ Водолея, выполненные телескопом им. Хаббла, Eracleous & Horne (1996) обнаружили явные признаки присутствия газовых потоков, которые покидают систему с темпом $\dot{M}_{\text{out}} \sim 5 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$. Темп истечения, полученный в их работе, хорошо соответствовал ожидаемому темпу обмена массой между компонентами в полуразделенной тесной двойной системе в форме струи через точку L1 (см., например, Липунов, 1987). Это позволило утверждать, что исходным источником газовых потоков, наблюдаемых в АЕ Водолея, является нормальный компонент системы, но газ, втекающий через точку L1 в полость Роша белого карлика, не достигает его поверхности, а, напротив, покидает систему с высоким темпом. В качестве возможной причины такой картины течения был предложен сценарий “магнитного пропеллера”, в котором истечение газа рассматривается как результат его взаимодействия с быстро врачающейся магнитосферой белого карлика. Наконец, анализ доплеровской Н-альфа томограммы АЕ Водолея (см. Welsh et al., 1998, и приведенную там литературу) позволил ограничить скорость газовых потоков в системе неравенством $v < 500$ км/с и оценить среднюю скорость газа, покидающего пределы двойной системы, как 300 км/с (см., например, Ikhsanov et al., 2004, и приведенную там литературу).

Картина течения газовых потоков в АЕ Водолея, построенная с учетом результатов перечисленных выше наблюдений, основывается на следующих положениях:

- Исходным источником газовых потоков в системе является ее нормальный компонент, который заполняет свою полость Роша и теряет вещество в форме струи через точку L1 с темпом $\dot{M}_0 \sim 5 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$.
- Скорость основной части газовых потоков, текущих внутри полости Роша белого карлика, не превосходит 500 км/с, что соответствует кеплеровской скорости $v_k(r) = (GM_{\text{wd}}/r)^{1/2}$ на расстоянии $r_0 \simeq 5 \times 10^{10}$ (здесь M_{wd} – масса белого карлика). Таким образом, можно утверждать, что основная часть газа, текущего в полости Роша белого карлика, располагается на расстоянии $r \geq r_0 \simeq 34 r_{\text{cor}} (P_s = 33 \text{ с})$, где $r_{\text{cor}} = (GM_{\text{wd}}/\omega_s^2)^{1/3}$ – радиус коротации белого карлика, P_s и $\omega_s = 2\pi/P_s$ – период и угловая скорость его вращения, соответственно, и r_0

- расстояние от центра белого карлика до точки наибольшего сближения с ним газовых потоков.
- Средняя скорость газа, покидающего систему, $\langle v_{\text{out}} \rangle \simeq 300 \text{ км/с}$, что соответствует парabolической скорости на границе полости Роша белого карлика, расположенной от него на расстоянии r_{L1} .

Сценарий течения газа в системе, основанный на вышеприведенных положениях, в наиболее общей форме может быть представлен последовательностью следующих пунктов:

1. Газовая струя исходно втекает в полость Роша белого карлика через точку L1 со скоростью, соответствующей скорости звука в фотосфере нормального компонента в области точки¹ L1, т.е. $v_{\text{L1}} \leq 10 \text{ км/с}$.
2. За время, сопоставимое по величине со временем свободного падения, $t_{\text{ff}}(r) = (r^3/GM_{\text{wd}})^{1/2}$, скорость газовой струи в полости Роша белого карлика возрастает до значения 300 – 500 км/с. Источником энергии, переходящей при этом процессе в кинетическую энергию движения газовой струи, является вращательная энергия белого карлика. Ускорение струи происходит при этом вследствие ее взаимодействия с магнитным полем белого карлика и/или газом, вращающимся с кеплеровской скоростью вокруг его магнитосферы.
3. Область пространства, занимаемая основной массой газа в полости Роша белого карлика, в радиальном направлении ограничена неравенством $r_0 \leq r \leq r_{\text{L1}}$. Некоторая асимметрия Н-альфа томограммы указывает, что истечение газа из системы происходит преимущественно в области пространства от точки L1 до точки L2 (см. [Welsh et al., 1998](#); [Ikhsanov et al., 2004](#), и приведенную там литературу).
4. Линейная скорость движения границы магнитосферы (в приближении ее твердотельного вращения) в области наибольшего сближения газа с белым карликом, $v_{\phi(m)}(r_0) = \omega_s r_0 \simeq 10^5 \text{ км/с}$, что составляет порядка 30% скорости света и в 200 раз превосходит кеплеровскую скорость на этом расстоянии. Последнее обстоятельство исключает возможность аккреции газа на поверхность белого карлика (детальное обсуждение этого обстоятельства приведено в работе [Ikhsanov, 2001](#)) и позволяет нам заключить, что взаимодействие между магнитосферой белого карлика и газом на ее границе происходит в соответствии со сценарием, в основе котороголожен механизм пропеллера.

К настоящему времени в литературе были предложены три возможных варианта течения газа в системе:

- Неоднородная газовая струя, совершающая сквозной пролет в полости Роша белого карлика от точки L1 и покидающая систему перед точкой L2 в результате эффекта пропеллера. Исходно этот сценарий был предложен в работе [Winn et al. \(1997\)](#), в которой ожидаемая скорость движения струи оказалась, однако, существенно выше наблюдаемого верхнего предела скорости газа в системе. Одной из причин этого несоответствия явилась ошибочная (заниженная почти на два порядка величины) нормировка величины магнитного поля белого карлика, принятая авторами статьи на основе исторической классификации системы как промежуточного поляра. Коррекция этой неточности позволила добиться соответствия ожидаемой и наблюдаемой скорости движения газа (см. [Ikhsanov et al., 2004](#)), но выявила, однако, проблему возможной переоценки эффективности механизма пропеллера в подходе, в котором магнитное поле моделируется как несжимаемая жидкость (подробное обсуждение можно найти в работе [Ikhsanov & Beskrovnaya, 2012](#)).

¹Заметим, что температура фотосферы нормального компонента в области L1 может отличаться от средней температуры его фотосферы вследствие воздействия на эту область излучения и ускоренных частиц, испускаемых белым карликом. Вместе с тем, представляется маловероятным, чтобы скорость звука в этой части струи превосходила 10 км/с (что соответствует температуре 10^4 К).

- Результаты моделирования течения газа в АЕ Водолея в рамках 3D МГД кода были представлены в работе [Isakova et al. \(2016\)](#). Эффективность взаимодействия газовой струи с магнитосферой белого карлика, оцененная в этих расчетах, оказалась существенно ниже предположенной в предыдущих исследованиях. Было отмечено, что ускорение, которое может получить газовая струя в ходе взаимодействия с магнитосферой белого карлика, в общем случае недостаточна для ее истечения из системы. Напротив, струя успевает сделать по крайней мере один оборот вокруг границы магнитосферы, формируя газовое кольцо. Распад этой структуры с последующим истечением газа из полости Роша белого карлика оказывается возможен лишь при условии развития в газовом кольце сильной турбулентности, сопровождаемой ударным взаимодействием и, соответственно, сильным нагревом газа.
- Гипотеза о присутствии в системе мертвого кеплеровского диска, внутренний и внешний радиус которого, соответственно, r_0 и r_L , была исходно предложена в работе [Ikhsanov \(2000\)](#). Взаимодействие диска с магнитосферой белого карлика в рамках сценария, основанного на этой гипотезе, происходит в режиме пропеллера. Однако истечение вещества из системы в этом случае происходит не от границы магнитосферы, а с внешнего радиуса диска, к которому избыточный угловой момент отводится вязкими напряжениями в диске. Детальные расчеты течения вещества в рамках этого сценария до настоящего времени, к сожалению, не проводились. Вместе с тем, оценки эффективности механизма пропеллера указывают на возможность реализации этого варианта течения вещества в системе.

В заключение этого параграфа следует особо отметить, что вся совокупность данных наблюдений АЕ Водолея и их интерпретации на основе аналитического и численного моделирования позволяют сделать вывод, что взаимодействие между магнитным полем белого карлика и веществом, притекающим в его полость Роша от нормального компонента, происходит в соответствии с механизмом пропеллера и приводит к трансформации части энергии вращения белого карлика в кинетическую энергию газа, покидающего систему. В следующем параграфе мы используем это обстоятельство для анализа достоверности некоторых предложенных ранее в литературе теоретических оценок эффективности механизма пропеллера.

2 Эффект пропеллера в АЕ Водолея

Тормозящий момент силы, приложенной к магнитной быстро вращающейся звезде в состоянии пропеллера, был впервые оценен в основополагающей работе [Illarionov and Sunyaev \(1975\)](#), как $K_{\text{sd}}^{(\text{p})} \leq K_{\text{sd}}^{\text{max}}$, где

$$K_{\text{sd}}^{\text{max}} \simeq \dot{\mathfrak{M}}_{\text{p}} v_{\text{p}}^2(r_{\alpha}). \quad (1)$$

Здесь $\dot{\mathfrak{M}}_{\text{p}}$ – масса газа, взаимодействующего с магнитным полем звезды в единицу времени (имеющее размерность темпа акреции/эжекции газа) и $v_{\text{p}}(r_{\alpha})$ – параболическая скорость на радиусе гравитационного захвата звезды, r_{α} , который в случае маломассивной двойной системы соответствует радиусу полости Роша вырожденной звезды.

Независимые оценки, выполненные в работе [Davies et al. \(1979\)](#), также приводят к оценке эффективности механизма пропеллера, представленной выражением (1). В применении к случаю АЕ Водолея это дает следующую оценку темпа потерь вращательной энергии белым карликом вследствие эффекта пропеллера:

$$L_{\text{sd}}^{(\text{prop})} = \omega_{\text{s}} K_{\text{sd}}^{\text{max}} \simeq 5 \times 10^{31} \text{ эрг/с} \left(\frac{\dot{\mathfrak{M}}}{5 \times 10^{-9} \text{ М}_{\odot}/\text{год}} \right) \left(\frac{v_{\text{p}}(r_{\alpha})}{300 \text{ км/с}} \right)^2 \left(\frac{P_{\text{s}}}{33 \text{ с}} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Темп потерь вращательной энергии белым карликом вследствие механизма пропеллера в этом случае оказывается порядка наблюдаемой светимости источника, ассоциированного с газовыми потоками, в течение спокойной фазы. Эта величина составляет порядка одного процента от наблюдаемого темпа вращательных потерь белым карликом, которые обусловлены преимущественно пульсарным механизмом.

Верхний предел на темп энерговыделения на внутреннем радиусе мертвого диска, окружающего звезду в состоянии пропеллера, описывается выражением $L_{\text{dd}}(r_0) \leq \dot{\mathfrak{M}} GM_{\text{sd}}/r_0$, что в случае АЕ Водолея оценивается как

$$L_{\text{dd}}(r_0) \simeq 8 \times 10^{32} \text{ эрг/с} \times \left(\frac{\dot{\mathfrak{M}}}{5 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}} \right) \left(\frac{M_{\text{wd}}}{M_{\odot}} \right) \left(\frac{r_0}{5 \times 10^{10} \text{ см}} \right)^{-1}. \quad (3)$$

Полученное нами значение соответствует светимости переменного источника, ассоциированного с газовыми потоками в системе, наблюдаемой в моменты ее наиболее активной фазы.

Таким образом, наблюдаемый диапазон переменности источника, ассоциированного с газовыми потоками в АЕ Водолея, в первом приближении удается объяснить в терминах наиболее консервативных оценок темпа потерь вращательной энергии звездой в состоянии пропеллера.

Предположения о возможности более интенсивного торможения звезды в состоянии пропеллера, в частности оценки тормозящего момента силы, представляемые выражениями $K_{\text{sd}}^{(\text{sh})} = \dot{\mathfrak{M}} \omega_s r_0^2$ и $K_{\text{sd}}^{(\text{lp})} = \mu^2/r_{\text{cor}}^3$ (см., например, [Липунов, 1987](#), и приведенную там литературу), в отношении АЕ Водолея приводят к явному противоречию с наблюдениями. Действительно, оценки ожидаемого темпа потери вращательной энергии белым карликом в этих случаях оказываются

$$L_{\text{sd}}^{(\text{sh})} = \dot{\mathfrak{M}} \omega_s^2 r_0^2 \simeq 10^{38} \text{ эрг/с} \left(\frac{\dot{\mathfrak{M}}}{5 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}} \right) \left(\frac{P_s}{33 \text{ с}} \right)^{-2} \left(\frac{r_0}{5 \times 10^{10} \text{ см}} \right)^2 \quad (4)$$

и

$$L_{\text{sd}}^{(\text{lp})} = \frac{\omega_s \mu^2}{r_{\text{cor}}^3} \simeq 3 \times 10^{40} \text{ эрг/с} \left(\frac{\mu}{10^{34} \text{ Гс см}^3} \right)^2 \left(\frac{P_s}{33 \text{ с}} \right)^{-2} \left(\frac{M_{\text{wd}}}{M_{\odot}} \right)^{-1}, \quad (5)$$

что более чем на четыре и шесть порядков величины, соответственно, превышает наблюдаемый темп вращательных потерь белым карликом в АЕ Водолея.

Причину столь значительной переоценки эффективности торможения вращения звезды в случае $L_{\text{sd}}^{(\text{sh})} = \dot{\mathfrak{M}} \omega_s^2 r_0^2$ легко понять, умножив и разделив это выражение на квадрат кеплеровской угловой частоты, $\omega_k(r) = (r^3/GM_{\text{wd}})^{1/2}$. В результате такой операции получаем:

$$\dot{\mathfrak{M}} \omega_s^2 r_0^2 \left(\frac{\omega_k}{\omega_s} \right)^2 = \dot{\mathfrak{M}} \frac{GM_{\text{wd}}}{r_0} \left(\frac{\omega_s}{\omega_k} \right)^2. \quad (6)$$

Подставляя в это выражение $\omega_s = (GM_{\text{wd}}/r_{\text{cor}}^3)^{1/2}$, получаем

$$L_{\text{sd}}^{(\text{sh})} = \dot{\mathfrak{M}} \frac{GM_{\text{wd}}}{r_0} \left(\frac{r_0}{r_{\text{cor}}} \right)^3. \quad (7)$$

Таким образом, выражение для момента силы $K_{\text{sd}}^{(\text{sh})} = \dot{\mathfrak{M}} \omega_s r_0^2$ превышает максимально возможный темп выделения потенциальной энергии газового потока на границе магнитосферы звезды на коэффициент $(r_0/r_{\text{cor}})^3$, что в случае $r_0 \gg r_{\text{cor}}$ и приводит к переоценке эффективности механизма пропеллера.

3 Заключение

Наблюдаемое истечение газа из тесной двойной системы АЕ Водолея с наибольшей вероятностью происходит вследствие эффекта пропеллера, т.е. взаимодействия между быстро вращающейся развитой магнитосферой белого карлика, входящего в эту систему, и потоками газа в его полости Роша. Темп истечения соответствует типичному темпу обмена массой в тесной двойной системе в форме струи через точку L1, происходящему в тепловой шкале времени. Скорости газовых потоков, полученные на основе анализа Н-альфа томограммы системы, указывают, что

точка наибольшего сближения между потоками газа и белым карликом расположена внутри его полости Роша и находится на расстоянии, которое более чем на порядок превосходит его радиус коротации. Какие-либо признаки аккреции на поверхность белого карлика в этой системе отсутствуют.

Оценка момента силы, приложенной к белому карлику вследствие эффекта пропеллера, находится в хорошем соответствии с оценкой $K_{\text{sd}}^{(\text{DP})} \leq \dot{\mathfrak{M}} v_p^2(r_L)$, предложенной Davies et al. (1979). Попытка использования популярных в литературе выражений для тормозящего момента силы, $\dot{\mathfrak{M}} \omega r_0^2$ и μ^2/r_{cor}^3 (Липунов, 1987), в отношении АЕ Водолея приводит к переоценке эффективности механизма пропеллера по сравнению с наблюдаемой на несколько порядков величины.

Наконец, следует отметить, что картина вспышечной активности АЕ Водолея, ожидаемая в рамках сценария сквозного течения газовой струи в полости Роша белого карлика, не в полной мере соответствует наблюдаемой по временным и энергетическим параметрам. В свете этого, рассмотрение альтернативных сценариев, таких, в частности, как формирование мертвого диска в полости Роша белого карлика (Ikhsanov, 2000; Isakova et al., 2016) представляется целесообразным и будет реализовано в одной из наших последующих статей.

Список литературы

- Липунов, В.М. (1987) Астрофизика нейтронных звезд. М.: Наука, 1987. – 296 с.
- Beskrovnaya, N.G., Ikhsanov, N.R., Bruch, A., Shakhovskoy, N.M. (1996) Photometric and polarimetric analysis of the flaring activity in AE Aqr. *Astronomy and Astrophysics*, 307, p. 840-848.
- Beskrovnaya, N.G. and Ikhsanov, N.R. (2024), Accretion-driven Spin-up of the White Dwarfs in AR Scorpii and AE Aquarii. *Astrophysical Bulletin*, 79, Nr. 1, p. 104-110.
- Bruch, A. (1991) Multicolour photometry of the unusual cataclysmic variable AE Aquarii. *Astronomy and Astrophysics*, 251, p. 59-68.
- Davies, R.E., Fabian A.C. and Pringle J.E (1979) Spindown of neutron stars in close binary systems. *MNRAS*, 186, p. 779-782.
- de Jager, O.C., Meintjes, P.J., O'Donoghue, D., Robinson, E.L. (1994) The discovery of a brake on the white dwarf in AE Aquarii. *MNRAS*, 267, p. 577-588.
- Eracleous, M., Horne, K. (1996) The Speedy Magnetic Propeller in the Cataclysmic Variable AE Aquarii. *Astrophysical Journal*, 471, p. 427-446.
- Ikhsanov, N.R. (1998) The pulsar-like white dwarf in AE Aquarii. *Astronomy and Astrophysics*, 338, p. 521-526.
- Ikhsanov, N.R. (2000) Signs of a dead disk in AE Aquarii. *Astronomy and Astrophysics*, 358, p. 201-207.
- Ikhsanov, N.R. (2001) Can the 33 s pulsations observed from AE Aquarii be explained in terms of accretion onto the white dwarf surface ? *Astronomy and Astrophysics*, 374, p. 1030-1034.
- Ikhsanov, N.R., Beskrovnaya, N.G. (2012), AE Aquarii represents a new subclass of Cataclysmic Variables. *Astronomy Reports*, 56, Nr. 8, p. 595-608
- Ikhsanov, N.R., Neustroev, V.V., Beskrovnaya, N.G. (2004) On the mass transfer in AE Aquarii. *Astronomy and Astrophysics*, 421, p. 1131-1142.
- Illarionov, A.F. and Sunyaev R.A. (1975) Why the number of galactic X-ray stars is so small? *Astronomy and Astrophysics*, 39, p. 185-195.
- Isakova, P.B., Ikhsanov, N.R., Zhilkin, A.G., Bisikalo, D.V., Beskrovnaya, N.G. (2016), Features of the matter flows in the peculiar cataclysmic variable AE Aquarii. *Astronomy Reports*, 60, Nr. 5, p. 498-508.
- Itoh, K., Okada, S., Ishida, M., Kunieda, H., (2006) Density Diagnostics of the Hot Plasma in AE Aquarii. *Astrophysical Journal*, 639, p. 397-404.
- van Paradijs, J., Kraakman, H., van Amerongen, S. (1989) Five-colour optical photometry of AE Aquarii. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 79, p. 205-215.
- Welsh, W.F., Horne, K., Gomer, R. (1998) Doppler signatures of H α flares in AE Aquarii. *MNRAS*, 298, p. 285-302.
- Wynn G.A., King A.R., Horne K., 1997, A magnetic propeller in the cataclysmic variable AE Aquarii. *MNRAS* 286, p. 436-446.

Evaluation of the propeller action efficiency based on the observed parameters of the gas outflow in the close binary system AE Aquarii

N.R. Ikhsanov^{1,2} , N.G. Beskrovnyaya¹ 

¹ The Central Astronomical Observatory of the RAS at Pulkovo , ² The Institute of Applied Astronomy of the RAS

Received 13 October 2025 / Accepted 15 October 2025

Abstract

Parameters of the gas outflow in the close binary system AE Aquarii containing the magnetic white dwarf with the spin period of 33 seconds are discussed. We argue in favor of scenario associating the gas outflow with the propeller mechanism. It is shown that the moment of force (torque) exerted to the white dwarf due to propeller effect does not exceed $\dot{\mathfrak{M}} v_{\text{esc}}^2(r_0)$, where $\dot{\mathfrak{M}}$ is the gas outflow rate in the system, and $v_{\text{esc}}(r_0)$ the velocity of gas outflow in the region of its interaction with the magnetosphere at the distance r_0 from the white dwarf center. We note that the popular estimates of the braking torque, such as $\dot{\mathfrak{M}} \omega_s r_0^2$ and μ^2/r_{cor}^3 , in the considered case result in overestimation of the propeller action efficiency in comparison with the observed value by a few orders of magnitude (here ω_s is the angular velocity of the white dwarf, μ is its dipole magnetic moment, and r_{cor} is the corotation radius). We briefly discuss a reliability of the existing picture of mass exchange in AE Aquarii and possible reasons for the discrepancy between the expected and observed efficiency of the propeller action by the white dwarf.

key words: close binary systems, magnetic fields, stars: cataclysmic variables, stars: individual: AE Aquarii