

УДК 524.338.2-56

СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВОЙ ОБОЛОЧКИ НЕОБЫЧНОЙ Ae-ЗВЕЗДЫ ХЕРБИГА HD 179218. I. БЫСТРАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ

© 2024 Н. З. Исмаилов^{1*}, М. А. Погодин²,
А. Ф. Холтыгин³, Х. Н. Адыгозалзаде¹, У. З. Баширова¹

¹Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Насреддина Туси, Шамахи, 5626 Азербайджан

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034 Россия

Поступила в редакцию 17 января 2024 года; после доработки 9 апреля 2024 года; принята к публикации 23 апреля 2024 года

Описывается и анализируется спектральный материал, полученный для молодой Ae-звезды Хербига HD 179218 с 2015 по 2021 г. Исследованы профили линий $H\beta$ и $He\ I \lambda 5876$ и их переменность на разных масштабах времени. Анализ результатов наблюдений показал, что профили линии $H\beta$ в спектре HD 179218 имеют вид одиночной эмиссионной компоненты с накладывающимися на нее локальными абсорбционными деталями, лучевые скорости которых варьируются от голубого до красного края эмиссии. В отдельные даты можно видеть сразу несколько компонент, сохраняющихся на протяжении не менее трех суток. В течение 17 дат наблюдений профили линий $H\beta$ и $He\ I \lambda 5876$ выглядели как обратный профиль P Cуг, красная граница которого v_{red} изменялась от даты к дате от +235 до +390 км с⁻¹. Анализ вариаций параметра v_{red} для этих линий методом Лафлера–Кинмана показал наличие регулярной компоненты с периодом $P = 1.341 \pm 0.002$ дня, что соответствует ожидаемому периоду вращения звезды. Обнаруженная переменность у HD 179218 может быть признаком магнитосферной аккреции. Определен угол наклона оси вращения объекта $i = 23^\circ \pm 3^\circ$. Картина наблюдаемой переменности HD 179218 может объясняться особенностями её магнетизма.

Ключевые слова: аккреция, аккреционные диски — звезды: переменные: Ae/Be Хербига — звезды: отдельные: HD 179218

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время звезды Ae/Be Хербига (НАЕВЕ) отождествляются с молодыми объектами промежуточных масс (2–10 M_\odot), находящимися на стадии эволюции до главной последовательности (ГП). Среди звезд ранних спектральных классов (от ранних подклассов F-звезд до ранних подклассов B-звезд) они идентифицируются по наличию избытка излучения в дальней инфракрасной области ($\lambda > 10$ мкм) и по присутствию в спектрах этих объектов эмиссионных линий (Herbig, 1960; Finkenzeller and Mundt, 1984; The et al., 1994).

С момента выделения в особую группу в 1960 г. (Herbig, 1960) эти звезды часто становились объектами изучения. Было установлено, что они окружены газопылевыми оболочками — остатками реликтовых протозвездных коконов. Околзвездные оболочки (диски) звезд Хербига многокомпонентны. Экваториальный диск является источником

аккреции вещества на звезду, на более высоких широтах располагается зона оттока газа во внешние области (ветер); вблизи звезды газопылевая оболочка становится чисто газовой. Детальный характер взаимодействия между различными кинематическими зонами изучен не в полной мере и остается предметом исследования. Модели околзвездных дисков вокруг звезд Хербига обсуждаются в недавнем обзоре Brittain et al. (2023). Детали их структуры исследуются в линиях CO, CS, H₂CO и других молекул (Booth et al., 2023; Pegues et al., 2023).

В отличие от звезд Т Тельца, сильных магнитных полей (порядка 1 кГс) у НАЕВЕ-звезд не наблюдается. С другой стороны, согласно недавним измерениям магнитного поля, некоторые звезды Ae/Be Хербига обладают глобально организованными магнитными полями порядка 100 Гс (Alecian et al., 2008, 2013; Hubrig et al., 2009, 2013; Järvinen et al., 2019a,b).

В компилятивной работе Kholtygin et al. (2019)

*E-mail: ismailovnshao@gmail.com

собраны все имеющиеся ко времени выхода статьи измерения магнитного поля для 84 Ae/Be-звезд Хербига и показано, что по крайней мере 20 из них обладают обнаружимыми магнитными полями, то есть около 20% звезд Хербига являются магнитными.

В силу сложности структуры профилей линий в спектрах НАЕВЕ-звезд и их быстрой и нерегулярной переменности измерения магнитных полей этих объектов весьма затруднительны, и реальная доля магнитных звезд Хербига может быть более 20%. Это значительно выше доли магнитных звезд среди потомков НАЕВЕ — АВ-звезд главной последовательности, — составляющей около 10% (Neiner et al., 2017).

При наличии у звезды значимого магнитного поля аккреция вещества околозвездного диска на нее носит магнитосферный характер. Этот процесс хорошо исследован для звезд типа Т Тау (Koenigl, 1991), имеющих значительно бóльшие, чем у звезд Хербига, магнитные поля. Обобщение результатов исследований переменности спектров звезд Хербига и поиска свидетельств существования у них магнитосферы сделано в работе Pogodin et al. (2021). Согласно Rysaeva et al. (2023), использование модели магнитосферной аккреции позволяет адекватно описать рентгеновские спектры магнитных звезд Хербига.

К настоящему времени наибольшее число работ посвящено исследованию НАЕВЕ с экваториальной или промежуточной ориентацией диска по отношению к наблюдателю. Эти объекты удобны для исследования, так как на луче зрения у них располагается область оболочки с достаточно хорошо прогнозируемой кинематикой. Такая ориентация позволяет изучать свойства околозвездного диска и составляющей его пылевой материи (случай звезд типа UX Ori или уксоров) или особенности ветра, экранирующего звезду от наблюдателя на промежуточных широтах (Grinin, 2017).

Обзор недавних результатов исследования уксоров представлен Grinin et al. (2023) и Burlak et al. (2024). Исследованию Ae/Be-звезд Хербига с признаками сильного ветра на луче зрения посвящена работа Pogodin et al. (2020).

HD 179218 (MWC 614, BD+15 3721) является изолированной звездой Ae/Be Хербига. Прямые спектрополяриметрические измерения ее магнитного поля в течение трех дат, проведенные Alecian et al. (2013), не показали наличия значимого магнитного поля на уровне трех стандартных отклонений. Наибольшее значение продольной компоненты магнитного поля B_l , по оценкам Alecian et al. (2013), 25/08/2005 составляет 78 ± 51 Гс. Значение B_l , по измерениям Hubrig et al. (2009),

Таблица 1. Параметры звезды HD 179218 (здесь i — угол наклона оси вращения звезды, τ — ее возраст; остальные обозначения стандартные)

Параметр	Значение	Ссылка*
Спектр. класс	B9e	L04
m_V	7.39	SIMBAD
T_{eff} , К	9500 ± 250	W20
M/M_{\odot}	$2.86^{+0.16}_{-0.20}$	W20
R/R_{\odot}	4.8 ± 0.7	A13
R/R_{\odot}	$3.62^{+0.12}_{-0.11}$	W20
$\lg g$	3.95 ± 0.10	W20
$\lg(L/L_{\odot})$	1.98 ± 0.07	W20
d , пк	$257.95^{+2.21}_{-2.17}$	Gaia EDR3
$v \sin i$, км с ⁻¹	68.8 ± 2.9	A13
i	$23^{\circ} \pm 3^{\circ}$	Данная работа
τ , Муг	$2.04^{+0.47}_{-0.26}$	W20

*L04 — Leinert et al. (2004), W20 — Wichittanakom et al. (2020), A13 — Alecian et al. (2013).

равно 51 ± 30 Гс. С учетом того, что для дипольного магнитного поля звезды значение B_l составляет от четверти до трети величины, сделать категоричный вывод об отсутствии у HD 179218 поля порядка 100–200 Гс мы не можем. Также не исключено присутствие на звезде локальных магнитных полей. Основные сведения о ее физических параметрах представлены в таблице 1.

В отличие от большинства известных звезд этого типа, HD 179218 имеет ориентацию, близкую к полюсной. Об этом свидетельствуют результаты ее спектроскопических мониторингов (Ismailov et al., 2019; Kozlova, 2004). В них отмечается, что профили линии $H\alpha$, как правило, эмиссионные, с одним пиком. Предпринимались попытки обнаружить какую-либо систематичность спектральной переменности этого объекта, но обычно они сводились к поиску цикличности в изменении различных параметров профиля линии $H\alpha$ на длинной шкале времени (месяцы и годы).

Как показали более ранние исследования, на луче зрения в направлении на HD 179218 находится неоднородная и нестабильная часть околозвездной газовой оболочки на высоких широтах, об особенностях которой мало известно. Поэтому анализ результатов нового спектроскопического мониторинга, охватывающего характерные времена от одного дня до нескольких месяцев и лет и содержащего данные о переменности большого числа спектральных линий, является крайне важным. Именно на таком временном масштабе ожидается

проявление большинства физических процессов в оболочке.

В настоящей статье анализируются спектральные наблюдения HD 179218, выполненные в 2015–2021 гг. на 2-м телескопе Шемахинской астрофизической обсерватории им. Н. Туси при Министерстве науки и просвещения Азербайджана. Сведения о выполненных оптических наблюдениях и их обработке представлены в разделе 2. В разделе 3 анализируются регулярная и нерегулярная переменности профилей линий. Выводы изложены в разделе 4.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ

Спектральные наблюдения HD 179218 проводились в течение семи разных сезонов 2015–2021 гг. За это время получено 85 эшелле-спектрограмм с высоким разрешением. Информация о полученных спектрах приводится в Таблице 2.

В 2015 году наблюдения были проведены с кассегреневским эшелле-спектрографом CES, который создан на базе спектрографа UAGS (см. Ismailov et al., 2013) для работы в фокусе Кассегрена 2-м телескопа ШАО. В качестве светоприемника использовалась ПЗС-матрица размером 530×580 пикселей, разработанная в САО РАН. Наблюдения были выполнены в диапазоне $4700\text{--}6700 \text{ \AA}$. Подробное описание наблюдений на этом спектрографе приводится в работе Ismailov et al. (2013). На спектрографе CES было получено 28 пар пригодных к обработке спектрограмм со спектральным разрешением $R = 14000$.

Наблюдения 2016–2021 гг. охватывали спектральный диапазон $3700\text{--}8000 \text{ \AA}$. Они были выполнены с помощью фибер-эшелле-спектрографа ШАО (ShaFES), разработанного совместно специалистами ШАО и САО РАН. Подробное описание технических характеристик этого спектрографа приводится в работе Mikailov et al. (2020). В качестве светоприемника применялась ПЗС-матрица STA4150A (США) формата 4096×4096 пикселей, размер одного пикселя 15 мкм . Камера охлаждалась жидким азотом до температуры -120°C . Наблюдения выполнялись с биннингом при комбинации 2×2 пикселей, которая позволяет получить разрешение $R = 28000$.

За семь лет, с 2015 по 2021 г., получено 86 эшелле-спектров высокого разрешения. При каждом наблюдении снимались спектры стандартных звезд HR 7300 (G8 II–III) и HR 7734 (A0 V). Во всех спектрах отношение сигнала к шуму в среднем достигало $S/N = 80\text{--}100$ в области линии $\text{H}\alpha$.

Таблица 2. Журнал наблюдений HD 179218. Приведены начало и конец сезона наблюдений в календарных и юлианских днях, количество ночей наблюдений, среднее время экспозиции за сезон и спектральное разрешение

Даты	JD, 2450000+	N	t , с	R
31/05–18/08/2015	7174–7253	28	900	$14\,000^a$
24/06–10/08/2016	7564–7641	9	2000	$28\,000^b$
05/07–13/09/2017	7940–8009	12	2200	$28\,000^b$
02/05–21/08/2018	8240–8352	10	2500	$28\,000^b$
01/06–26/08/2019	8635–8721	14	2500	$28\,000^b$
06/08–28/08/2020	9009–9090	6	2500	$28\,000^b$
18/08–31/08/2021	9445–9458	6	2500	$28\,000^b$

Спектрографы: ^aCES и ^bShaFES.

Ошибки измерений лучевых скоростей по стандартным звездам составляли $1\text{--}1.5 \text{ км с}^{-1}$. Эквивалентные ширины бальмеровских линий водорода определялись с точностью не хуже 10%.

Поскольку штарковские крылья водородных линий $\text{H}\alpha$ и $\text{H}\beta$ очень широкие и они полностью не помещались на одном эшелле-порядке спектра, то нормировка профилей проводилась с использованием синтетического спектра. Мы использовали модель Куруца с параметрами: $T_{\text{eff}} = 10\,000 \text{ K}$, $\lg g = 4.0$, $v \sin i = 70 \text{ км с}^{-1}$, $v_{\text{собств}} = +15 \text{ км с}^{-1}$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные спектры распределены по времени крайне неравномерно. Весь временной ряд оказался разбитым на семь групп с годовым промежутком между ними, что затрудняло применение к данным наблюдений Фурье-анализа для поиска циклической переменности с периодами более года.

Если в прежних работах, посвященных HD 179218, все внимание было сконцентрировано на исследовании наиболее яркой линии — $\text{H}\alpha$, то мы провели анализ изменений профилей другой бальмеровской линии — $\text{H}\beta$. Эта линия формируется в более ограниченном пространственном объеме околосредной среды, и тонкая структура ее профилей оказывается менее размытой, чем у профилей линии $\text{H}\alpha$, область образования которой охватывает практически всю оболочку, содержащую районы с различной кинематикой. Мы также рассмотрели профили линии нейтрального гелия $\text{He I } \lambda 5876$, формирующейся в высокотемпературной области взаимодействия аккреционных потоков с поверхностью звезды.

3.1. Особенности переменности в линии $H\beta$

Для выделения из полного профиля линии $H\beta$ только околозвездной компоненты из него вычитался атмосферный штатовский профиль, а затем прибавлялась единица, чтобы получить нормированный профиль чисто околозвездного происхождения. Первичный просмотр всего имеющегося спектроскопического материала показал чрезвычайно многообразные форм наблюдающихся профилей линии $H\beta$ (см. рис. 1). Для удобства вместо длины волны λ использованы доплеровские смещения v от лабораторной длины волны линии λ_0 :

$$v = c \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} - 1 \right), \quad (1)$$

где c — скорость света. Если охарактеризовать профиль линии в целом, то линия имеет вид одиночного эмиссионного профиля с наложенными на него локальными абсорбционными компонентами, имеющими как положительные, так и отрицательные скорости. Если такая компонента находится на коротковолновом краю эмиссионного крыла, то профиль приобретает тип P Cug, а если на красном краю — профиль обратный P Cug. Интенсивности локальных абсорбционных компонент, самого эмиссионного пика, а также лучевые скорости локальных компонент сильно переменны во времени. Таких компонент в отдельные даты может наблюдаться сразу несколько, причем одновременно и на положительных, и на отрицательных скоростях. Линия $H\beta$ хорошо видна на 84 спектрах из всех 86. На 17 спектрах она имела профиль типа обратного P Cug, на семи — прямого P Cug.

Профиль типа обратного P Cug свидетельствует о том, что в пространстве на луче зрения присутствует непрозрачный в линии аккрецируемый газ, экранирующий звезду от наблюдателя. Положение красной границы абсорбционной компоненты v_{red} соответствовало скоростям от 230 до 390 км с⁻¹ в различные даты. Скорость падающего газа более 300 км с⁻¹ не может быть достигнута при аккреции внутри вязкого диска. Она соответствует скорости свободного падения на звезду с расстояния порядка двух радиусов звезды, что может служить косвенным свидетельством магнитосферного характера аккреции.

Такой тип аккреции возможен либо при наличии у звезды глобального магнитного поля, достаточного, чтобы остановить приближение аккреционного диска к звезде и управлять аккреционным потоком на более близких расстояниях от звезды, либо локальных магнитных полей, существующих в течение по крайней мере нескольких оборотов звезды. В таком случае можно ожидать, что переменность скорости v_{red} будет носить циклический

характер с периодом, равным периоду вращения звезды P_{rot} .

Возникновение такой переменности связано с наклоном оси вращения звезды к оси магнитного диполя, что приводит к формированию в пространстве между внутренней границей диска и поверхностью звезды глобальной азимутальной неоднородности, вращающейся твердотельно вместе со звездой и модулирующей профили спектральных линий.

3.1.1. Признаки наличия магнитосферы у HD 179218

Чтобы проверить предположение о наличии у HD 179218 магнитосферы, мы попытались обнаружить признаки циклической переменности у наблюдаемого параметра v_{red} для линий $H\beta$ и He I λ 5876. Для поиска регулярных компонент вариаций данного параметра был применен метод Лафлера–Кинмана (Lafleur and Kinman, 1965). Соответствующие периодограммы, построенные в интервале пробных периодов от 1 до 3 суток, показаны на рис. 2.

На рис. 2а, относящемся к линии $H\beta$, отчетливо видны два периода: $P_1 = 1^{\text{d}}346$ и $P_2 \approx 2P_1 = 2^{\text{d}}680$. Присутствие двух минимумов на периодограммах означает, что один из них истинный, а другой — гармоника истинного периода. В предположении, что истинным является период P_1 , и используя значения $v \sin i = 68.8 \pm 2.9$ км с⁻¹ и $R/R_{\odot} = 4.8 \pm 0.7$ согласно Alecian et al. (2013), получим угол наклона оси вращения звезды $i \approx 22^\circ$. Выбор периода P_2 соответствует значению $i \approx 49^\circ$.

Значение $i = 22^\circ$ близко к величине $i = 20^\circ$, приведенной Leinert et al. (2004), а угол $i = 49^\circ$ соответствует величине $i = 43^\circ$, данной Lazareff et al. (2017). Последнее значение вряд ли реально, так как при этом линия $H\alpha$ будет иметь профиль типа P Cug, тогда как в действительности профиль данной линии в спектре HD 179218 представляет собой одиночный эмиссионный пик (см., например, статью Ismailov et al. (2019)). Отметим также, что величина $i = 43^\circ$ получена из результатов моделирования внешних пылевых дисков. Отличие наклона оси вращения, оцененного по положению такого диска, от реального угла наклона оси вращения может быть кардинальным.

По указанным причинам следует принять за истинное значение периода вращения величину $P_1 \approx 1^{\text{d}}34$. Для оценки точности периода вращения рассмотрим периодограмму вариаций параметра v_{red} для линии He I λ 5876 (см. рис. 2а), являющейся индикатором условий в высокотемпературной области ударного взаимодействия аккрецируемого газа с поверхностью звезды. Она подобна

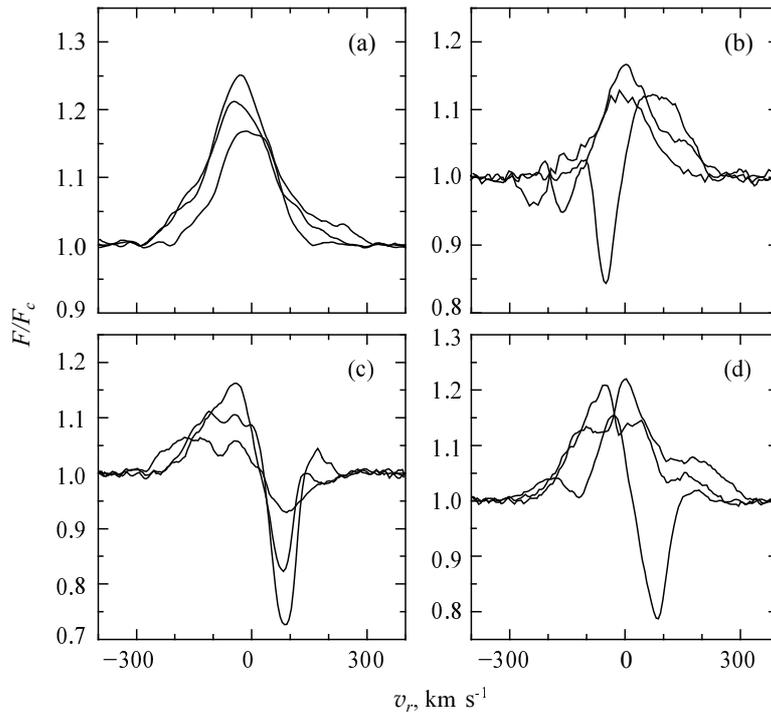


Рис. 1. Эмиссионные профили линии $H\beta$, наблюдавшиеся в спектре HD 179218 в различные даты: (a) — одиночные эмиссионные профили (24/06/2016; 28/07/2017 и 29/07/2017), (b) — профили типа P Cyg (29/06/2015; 06/07/2017 и 06/05/2018), (c) — профили типа обратного P Cyg (07/08/2018; 24/06/2019 и 25/08/2019), (d) — многокомпонентные профили (07/07/2019; 08/08/2020 и 29/08/2021).

периодограмме линии $H\beta$. Минимумы этой периодограммы соответствуют периодам $P'_1 = 1^d.341$ и $P'_2 \approx 2P'_1 = 2^d.676$.

Сравнивая значения найденных периодов для линий $H\beta$ и $He\ I \lambda 5876$, получим оценку периода вращения: $P = 1.341 \pm 0.002$ дня. Используя это значение и величину $v \sin i$ из таблицы 1, оценим угол наклона оси вращения $i = 23^\circ \pm 3^\circ$. На рис. 3 показаны фазовые зависимости изменений величин v_{red} для линий $H\beta$ и $He\ I \lambda 5876$ в сравнении с аппроксимирующими их синусоидами с частотой, соответствующей найденному периоду вращения. За нулевую фазу была принята дата MJD 57000.0. Данные факты не противоречат предположению о существовании магнитосферы HD 179218, однако нельзя исключить возможность их интерпретации в рамках другой модели.

3.1.2. Другие типы быстрой спектральной переменности на примере линии $H\beta$

Циклическая переменность профилей линий в спектре звезды, свидетельствующая о магнитосферном характере аккреции у HD 179218 — это только один из видов изменений линии $H\beta$, наблюдающихся у этого объекта. Несмотря на многообразие типов профилей $H\beta$, видимых в спектре HD 179218, мы попытались провести некоторую

систематизацию характера их переменности. Для этого мы рассмотрели несколько серий профилей, полученных в соседние ночи, чтобы обнаружить закономерности в их изменениях и отождествить их с известными физическими процессами и явлениями, протекающими на временном масштабе порядка суток.

На рис. 4 показаны три профиля. Первые два были получены в одну ночь 29/30 июля 2017 г. с интервалом между экспозициями 0.44 суток (примерно 10 часов). За это время между ними произошли заметные изменения. Интенсивность линии в центре эмиссии и в голубом крыле существенно выросла, и на скорости около -170 km s^{-1} появилась локальная абсорбционная компонента. Через трое суток, в ночь 2/3 августа, интенсивность линии снова уменьшилась, но положение локальной компоненты осталось неизменным, она только опустилась вниз вместе с ослабленным голубым крылом, а сам профиль приобрел вид P Cyg.

Еще один характерный пример поведения локальных абсорбционных компонент на профиле линии $H\beta$ показан на рис. 5. На нем приведены два профиля, полученные 7 и 8 июля 2019 г. с интервалом в 22 часа. В первую ночь на голубом и на красном эмиссионных крыльях наблюдались две локальные абсорбционные компонен-

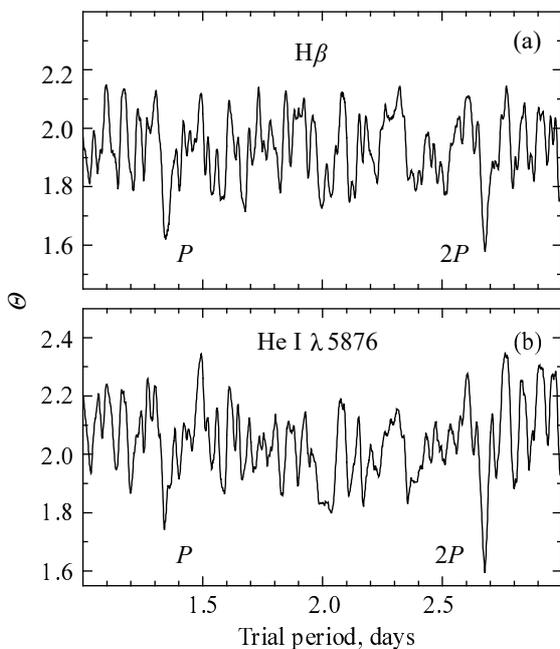


Рис. 2. Периодограммы Лафлера–Кинмана, построенные для параметров v_{red} линий $\text{H}\beta$ и $\text{He I } \lambda 5876$ в спектре HD 179218. Величина $v_{\text{red}}(\text{He I})$ полагалась равной нулю, если на профиле линии отсутствовала красная абсорбционная компонента. Минимумы на периодограммах соответствуют основному периоду $P = 1^{\text{d}}341 \pm 0^{\text{d}}002$ и периоду $2P$.

ты: на -70 км с^{-1} и на $+110 \text{ км с}^{-1}$. Во вторую ночь голубая компонента стала гораздо глубже, а красная — существенно мельче. Соответственно изменились и интенсивности профиля вблизи этих компонент. При этом лучевые скорости компонент остались такими же, как и в первую ночь.

Аналогичная картина наблюдалась и с 29 августа по 1 сентября 2021 года. В течение всех четырех ночей были отчетливо видны две локальные абсорбционные компоненты на -10 и $+120 \text{ км с}^{-1}$, изменяющие относительные интенсивности, но сохраняющие положения (см. рис. 6). Помимо них во вторую ночь появилась еще одна красная компонента на $+280 \text{ км с}^{-1}$, из-за чего профиль стал выглядеть как обратный профиль P Cyg. Слабые признаки красной компоненты на $+280 \text{ км с}^{-1}$ были заметны и в третью ночь, но в четвертую ночь она полностью пропала.

3.2. Пространственно-кинематическая структура в околуполосном районе газовой оболочки HD 179218

Таким образом, можно отметить две характерные особенности переменности локальных абсорбционных компонент профиля линии $\text{H}\beta$.

Они могут:

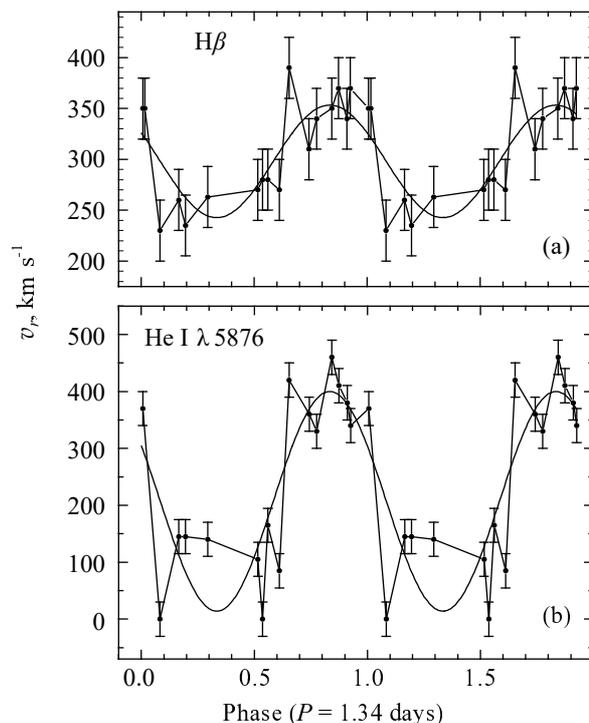


Рис. 3. Фазовые зависимости параметров v_{red} линий $\text{H}\beta$ и $\text{He I } \lambda 5876$, построенные для найденного периода $P = 1^{\text{d}}341$ и нулевой фазы MJD 57000.0. Показаны синусоиды, аппроксимирующие эти зависимости, и ошибки измерения каждого параметра $\pm 30 \text{ км с}^{-1}$. Величина $v_{\text{red}}(\text{He I})$ полагалась равной нулю, если на профиле линии He I отсутствовала красная абсорбционная компонента.

- 1) появиться в течение одной ночи;
- 2) сохранять свое положение на шкале лучевых скоростей не менее трех суток.

Чтобы понять природу этих особенностей, следует сопоставить их поведение с ожидаемыми проявлениями различных физических процессов и явлений в околосредном газе на различных временных масштабах:

1. Вращение различного вида азимутальных неоднородностей. Это может быть: а) аккреционный поток внутри магнитосферы, б) образования типа струй в ветре и локальных уплотнений в диске, протопланеты, планеты и динамические спиралевидные структуры в диске, связанные с их существованием (см., например, Boccaletti et al., 2020).
2. Изменение широтной протяженности зон с различной кинематикой газа (диск, ветер) на луче зрения между звездой и наблюдателем. Если такая зона приблизительно симметрична относительно оси вращения, то время жизни связанной с ней локальной неоднородности может быть достаточно большим.

Выполненный нами анализ влияния движения в оболочке азимутальных неоднородностей различ-

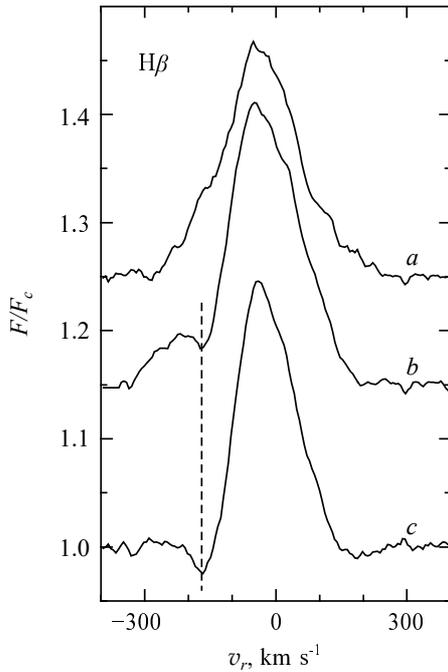


Рис. 4. Профили линии $H\beta$ в спектре HD 179218, наблюдавшемся в ночь 29/30 июля 2017 г. (а и б) с интервалом 10 часов, и этот же профиль через 2.7 дня (с) в спектре, полученном 2 августа. Локальная абсорбционная деталь на -170 км с^{-1} появилась в течение одной ночи и была видна в том же положении еще почти трое суток.

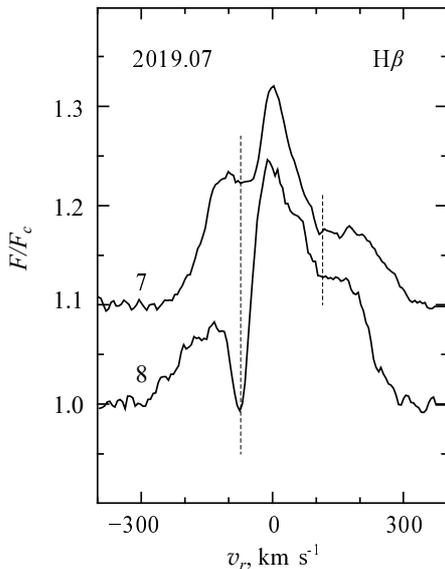


Рис. 5. Профили линии $H\beta$ в спектре HD 179218, наблюдавшемся в ночи 7 и 8 июля 2019 г. Видны две локальные абсорбционные детали в голубом и красном эмиссионных крыльях профиля. Их интенсивности за сутки изменились, но лучевые скорости (-73 и $+115 \text{ км с}^{-1}$ соответственно) остались постоянными.

ных вышеперечисленных типов на спектральную переменность показывает, что предположение об

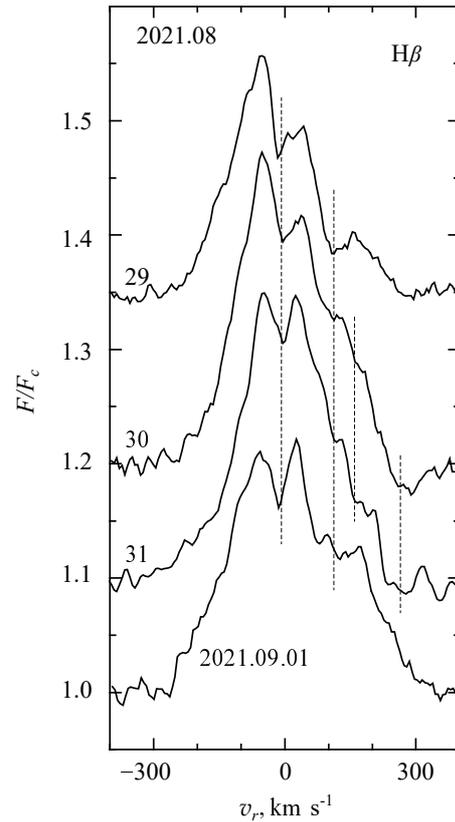


Рис. 6. Многокомпонентный профиль линии $H\beta$, наблюдавшийся в спектре HD 179218 в течение четырех последовательных дат в августе–сентябре 2021 г. Показаны локальные абсорбционные детали, не изменившие за это время своих положений на шкале лучевых скоростей.

их существовании не позволяет объяснить стабильность лучевых скоростей локальных абсорбционных компонент профиля линии $H\beta$, наблюдающихся в течение трех суток.

Альтернативная гипотеза о существовании в оболочке осесимметричных зон с различной кинематикой обсуждалась нами ранее при анализе наблюдаемой стратификации ветра другой Ae-звезды Херbiga с околополюсной ориентацией оси вращения — HD 190073, согласно Pogodin et al. (2005). У этого объекта присутствовало несколько компонент истекающего газа с лучевыми скоростями от 0 до -400 км с^{-1} . Эти компоненты либо слабо меняли свои лучевые скорости в течение длительного времени (у линий $H\beta$ и $D_{1,2}$ линий Na I), разбиваясь при этом по скоростям в отдельные устойчивые группы, либо сохраняли свои положения полностью постоянными в течение десятилетий (H и K дублет Ca II, Pogodin et al., 2005; Kozlova et al., 2019). Не имея возможности дать окончательную интерпретацию этого явления, мы предположили, что оно может быть связано с особой конфигурацией глобального магнитного поля звезды, возникшей

при его взаимодействии с газом, аккрецируемым из диска.

У объекта HD 179218 картина переменности другая:

- а) нет выделенных по скоростям групп, в которые собирались бы различные наблюдаемые компоненты профилей;
- б) локальные компоненты являются при этом признаками не только ветра, но и движения в сторону звезды, причем эти два типа кинематики встречаются приблизительно поровну;
- в) время жизни отдельных компонент гораздо короче.

Неожиданной особенностью HD 179218 является отсутствие у этой звезды обнаружимого рентгеновского излучения, которое традиционно считается признаком магнитосферной аккреции (см., например, Rysaeva et al., 2023).

Тем не менее предположение о сложной конфигурации магнитного поля объекта или локальных магнитных полей, как причине особенностей наблюдаемых профилей линии $H\beta$ в спектре HD 179218 и их переменности, представляется нам перспективным. В свое время в работе Bouvier et al. (2007) была на качественном уровне рассмотрена модель околозвездной среды у молодых звезд, в которой изменения конфигурации магнитного поля звезды связывались с локальными вариациями темпа дисковой аккреции. Эта модель предсказывает подобные изменения в широком диапазоне характерных времен от одного дня до месяца.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе продолжены исследования редкой подгруппы молодых Ae/Be-звезд Хербига — звезд класса A с ориентацией оси вращения относительно наблюдателя, близкой к полюсной. Именно под таким углом зрения можно наблюдать околополярные области околозвездной оболочки, где газ имеет наименее изученные структуру и кинематику. Это пограничная область между зоной ветра и аккреционным потоком, падающим на звезду в области высоких широт. Нами уже исследованы два представителя этой подгруппы: HD 190073 (Pogodin et al., 2005; Kozlova et al., 2019) и HD 179218 в настоящей работе. У обоих объектов наблюдаются явления, которые остаются до конца неясными и могут быть объяснены взаимодействием магнитного поля звезды, имеющего особую конфигурацию, с аккреционным диском.

Для объекта HD 179218 установлено следующее:

- обнаружена циклическая переменность скорости красной границы абсорбционной компоненты v_{red} профилей линий $H\beta$ и $\text{HeI}\lambda 5876$ с периодом $P = 1^{\text{d}}34$, который соответствует ожидаемому периоду вращения звезды;
- максимальные значения параметра v_{red} достигают 390 км с^{-1} , что возможно при магнитосферном характере аккреции;
- оценен угол наклона оси вращения звезды к лучу зрения $i = 23^\circ \pm 3^\circ$;
- сделан вывод о возможном существовании магнитосферы у HD 179218.

Профили линии $H\beta$ демонстрируют широкое многообразие типов. Как правило, это одиночный эмиссионный профиль с наложенными на него локальными абсорбционными компонентами на лучевых скоростях от голубого края профиля (что соответствует профилю типа P Cug) до красной границы эмиссионного крыла профиля (обратный P Cug профиль линии). В отдельные даты как красные, так и голубые абсорбционные детали видны одновременно, что свидетельствует о наличии как истекающих, так и движущихся от звезды потоков газа.

Анализ переменности скоростей этих образований показал, что они могут появиться на эмиссионном профиле линии в течение нескольких часов, а потом не изменять своего положения до нескольких суток (не менее трех). Такая особенность поведения исключает их интерпретацию в рамках предположения о вращающихся азимутальных неоднородностях, которое часто использовалось при моделировании спектральной переменности Ae/Be-звезд Хербига с промежуточной ориентацией околозвездных дисков (см., например, Pogodin et al., 2019).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность рецензенту статьи за полезные замечания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

М. А. Погодин благодарит Минобрнауки за финансовую поддержку работы грантом «Экзопланеты-4», проект № 075-15-2020-780.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Alecian, C. Catala, G. A. Wade, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **385** (1), 391 (2008). DOI:10.1111/j.1365-2966.2008.12842.x
2. E. Alecian, G. A. Wade, C. Catala, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429** (2), 1001 (2013). DOI:10.1093/mnras/sts383
3. A. Boccaletti, E. Di Folco, E. Pantin, et al., *Astron. and Astrophys.* **637**, id. L5 (2020). DOI:10.1051/0004-6361/202038008
4. A. S. Booth, C. J. Law, M. Temmink, et al., *Astron. and Astrophys.* **678**, id. A146 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202346974
5. J. Bouvier, S. H. P. Alencar, T. Bouvier, et al., *Astron. and Astrophys.* **463** (3), 1017 (2007). DOI:10.1051/0004-6361:20066021
6. S. D. Brittain, I. Kamp, G. Meeus, et al., *Space Sci. Rev.* **219** (1), article id. 7 (2023). DOI:10.1007/s11214-023-00949-z
7. M. A. Burlak, A. V. Dodin, A. V. Zharova, et al., *arXiv e-prints astro/ph:2401.08387* (2024). DOI:10.48550/arXiv.2401.08387
8. U. Finkenzeller and R. Mundt, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **55**, 109 (1984).
9. V. Grinin, *ASP Conf. Ser.*, **510**, 32 (2017).
10. V. P. Grinin, L. V. Tambovtseva, A. A. Djupvik, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **524** (3), 4047 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad2108
11. G. H. Herbig, *Astrophys. J. Suppl.* **4**, 337 (1960). DOI:10.1086/190050
12. S. Hubrig, I. Ilyin, M. Schöller, and G. Lo Curto, *Astronomische Nachrichten* **334** (10), 1093 (2013). DOI:10.1002/asna.201311948
13. S. Hubrig, B. Stelzer, M. Schöller, et al., *Astron. and Astrophys.* **502** (1), 283 (2009). DOI:10.1051/0004-6361/200811533
14. N. Z. Ismailov, G. G. Bakhaddinova, O. B. Khalilov, and K. M. Mikailov, *Astrophysical Bulletin* **68** (2), 196 (2013). DOI:10.1134/S1990341313020077
15. N. Z. Ismailov, U. Z. Bashirova, and A. N. Adigezalzade, *Astrophysical Bulletin* **74** (3), 300 (2019). DOI:10.1134/S1990341319030076
16. S. P. Järvinen, T. A. Carroll, S. Hubrig, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* (2019a). DOI:10.1093/mnras/stz2190
17. S. P. Järvinen, T. A. Carroll, S. Hubrig, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* (2019b). DOI:10.1093/mnras/stz1212
18. A. F. Kholtygin, O. A. Tsiopa, E. I. Makarenko, and I. M. Tumanova, *Astrophysical Bulletin* **74** (3), 293 (2019). DOI:10.1134/S1990341319030064
19. A. Koenigl, *Astrophys. J.* **370**, L39 (1991). DOI:10.1086/185972
20. O. V. Kozlova, *Astrophysics* **47** (3), 287 (2004). DOI:10.1023/B:ASYS.0000040157.11939.6d
21. O. V. Kozlova, M. A. Pogodin, I. Y. Alekseev, and M. I. Dombrovskaya, *Astrophysics* **62** (3), 318 (2019). DOI:10.1007/s10511-019-09585-4
22. J. Lallier and T. D. Kinman, *Astrophys. J. Suppl.* **11**, 216 (1965). DOI:10.1086/190116
23. B. Lazareff, J. P. Berger, J. Kluska, et al., *Astron. and Astrophys.* **599**, id. A85 (2017). DOI:10.1051/0004-6361/201629305
24. C. Leinert, R. van Boekel, L. B. F. M. Waters, et al., *Astron. and Astrophys.* **423**, 537 (2004). DOI:10.1051/0004-6361:20047178
25. K. M. Mikailov, F. A. Musaev, I. A. Alekberov, et al., *Kinematics and Physics of Celestial Bodies* **36** (1), 22 (2020). DOI:10.3103/S0884591320010043
26. C. Neiner, G. A. Wade, S. C. Marsden, and A. Blazère, in *Proc. Polish Astron. Soc. on Second BRITE-Constellation Science Conference: Small satellites-big science, Innsbruck, Austria, 2016*, Ed. by K. Zwintz and E. Poretti, Innsbruck, Austria, 2016 (Polish Astronomical Society, Warsaw, 2017), pp. 86–93.
27. J. Pegues, K. I. Öberg, C. Qi, et al., *Astrophys. J.* **948** (1), id. 57 (2023). DOI:10.3847/1538-4357/acbf31
28. M. Pogodin, N. Beskrovnaya, and S. Pavlovskiy, in *Proc. All-Russian Conf. on Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Nizhny Arkhyz, Russia, 2020*, Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev (Spec. Astrophys. Obs. Russian Acad. Sci., Nizhnij Arkhyz, 2020), pp. 133–136 (2020). DOI:10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_133
29. M. Pogodin, N. Drake, N. Beskrovnaya, et al., *Universe* **7** (12), id. 489 (2021). DOI:10.3390/universe7120489
30. M. A. Pogodin, G. A. P. Franco, and D. F. Lopes, *Astron. and Astrophys.* **438** (1), 239 (2005). DOI:10.1051/0004-6361:20034290
31. M. A. Pogodin, O. V. Kozlova, I. Y. Alekseev, and S. E. Pavlovskiy, *Astrophysics* **62** (1), 18 (2019). DOI:10.1007/s10511-019-09560-z
32. E. Ryspaeva, A. Kholtygin, and M. Lyutikov, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **521** (2), 2427 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad629
33. P. S. The, D. de Winter, and M. R. Perez, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **104**, 315 (1994).
34. C. Wichittanakom, R. D. Oudmaijer, J. R. Fairlamb, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **493** (1), 234 (2020). DOI:10.1093/mnras/staa169

Structural-Kinematic Features of Gas Environment of Unusual Herbig Ae Star HD 179218. I. Rapid Spectral Variability

N. Z. Ismailov¹, M. A. Pogodin², A. F. Kholtygin³, H. N. Adigozalzade¹, and U. Z. Bashirova¹

¹Shamakhy Astrophysical Observatory, Shamakhy, 5626 Azerbaijan

²Central (Pulkovo) Astronomical Observatory, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 196140 Russia

³St. Petersburg University, St. Petersburg, 199034 Russia

The spectroscopic material obtained from 2015 to 2021 for the young Herbig Ae star HD 179218 is described and analyzed. The profiles of the H β and He I λ 5876 lines and their variability on different time scales are studied. Analysis of the observation results showed that the profiles of the H β line in the spectrum of HD 179218 have the shape of a single emission component with local absorption features superimposed on it, the radial velocities of which vary from the blue to the red edge of the emission. On certain dates, one can simultaneously observe several components persisting for at least three days. Over 17 observation dates, the H β and He I λ 5876 line profiles looked like the inverse profile of P Cyg, the red boundary of which v_{red} varied from date to date from +235 to +390 km s⁻¹. Analysis of variations in the parameter v_{red} for these lines by the Lalleur–Kinman method showed the presence of a regular component with the period $P = 1.341 \pm 0.002$ days corresponding to the expected rotation period of the star. The detected variability of HD 179218 may be a sign of magnetospheric accretion. The object's rotation axis inclination is determined, $i = 23^\circ \pm 3^\circ$. The pattern of the observed variability of HD 179218 can be explained by the peculiarities of its magnetism.

Keywords: *accretion, accretion disks—stars: variables: Herbig Ae/Be—stars: individual: HD 179218*