АСТРОФИЗИКА

ТОМ 62 ФЕВРАЛЬ, 2019 ВЫПУСК 1

БЫСТРАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ Ae/Be ЗВЕЗДЫ ХЕРБИГА HD37806

М.А.ПОГОДИН[1], О.В.КОЗЛОВА[2], И.Ю.АЛЕКСЕЕВ[2], С.Е.ПАВЛОВСКИЙ[1]

Поступила 21 августа 2018
Принята к печати 12 декабря 2018

Представлены результаты анализа спектроскопической переменности Ae/Be звезды Хербига HD37806 на временном масштабе от ночи к ночи, а также в течение отдельных ночей. Наблюдения были проведены в ноябре 2012г. на кудэ-спектрографе ASP-14, установленном на 2.6-м телескопе ЗТШ в Крымской астрофизической обсерватории РАН. В течение 4-х ночей было получено 40 спектров в области линий Hα и HeI 5876. Анализ наблюдаемой переменности профилей этих линий показал, что: а) изменения профилей Hα хорошо объясняются в рамках предположения об их вращательной модуляции локальными азимутальными неоднородностями в зоне ветра; б) быстрая переменность линии HeI 5876, имеющая вид стоячих волн интенсивности в области красной абсорбционной компоненты, является дополнительным свидетельством наличия у HD37806 магнитосферы, содержащей локальные аккреционные потоки, вращающиеся твердотельно в магнитном поле звезды.

Ключевые слова: *Ae/Be звезды Хербиг: околозвездные оболочки: дисковая аккреция: ветер: магнитосфера: HD37806*

1. *Введение*. Настоящая работа является продолжением исследования спектральных особенностей Ae/Be звезды Хербига HD37806 (MWC 120, A2-B8), первые результаты которого были представлены в статье Погодина и др. [1]. Но если в [1] анализировалась переменность линий в спектре объекта, наблюдавшаяся на шкале времени от суток до месяцев и лет, то теперь предметом исследования стали более быстрые изменения параметров линий, которые происходили в течение одной ночи.

В предыдущей работе [1] был приведен краткий обзор информации, известный о HD37806 к настоящему времени из опубликованной литературы. Этот объект относят к изолированным Ae/Be звездам Хербига, он расположен вблизи ассоциации Orion OBIb. К его наиболее примечательным особенностям можно отнести большую скорость вращения $V\sin i = 120 \pm 30$ км/с [2,3] и значительную скорость удаления от Солнца (47 ± 21 км/с [3]). Высокоточная фотометрия со спутника MOST [4] показала наличие у HD37806 малоамплитудной циклической переменности блеска с периодом около 1.5 сут. Эта величина близка к ожидаемому периоду вращения звезды, поэтому обнаруженная

периодичность фотометрической переменности может свидетельствовать о существовании локальных неоднородностей на поверхности звезды или аккреционных потоков внутри гипотетической магнитосферы, вращающейся вместе со звездой в твердотельном режиме.

На основе результатов наблюдений, описанных в [1], были сделаны следующие выводы:

1. На масштабе времени порядка месяца, линия Hα может изменять тип своего профиля с P Cyg III на двойной эмиссионный и обратно. Было сделано предположение, что подобная трансформация профиля может быть связана с изменением внешней широтной границы зоны ветра, расположенной близко от луча зрения.

2. У профилей линий Hα и дублета DNaI наблюдаются узкие абсорбционные компоненты, меняющие свои лучевые скорости с характерным временем порядка одних суток. Была рассмотрена гипотеза, что они могут быть результатом вращения локальных азимутальных неоднородностей в зоне ветра, формирующихся при взаимодействии аккреционного диска с гипотетической магнитосферой звезды в режиме пропеллера [5,6].

3. В отдельные даты у некоторых линий (Hα , Hβ , HeI, NaI) появлялись ярко выраженные признаки аккреции вещества на звезду в виде дополнительных красных компонент профиля. Их время жизни составляло несколько суток, и их природа, по-видимому, связана с эпизодическими изменениями темпа аккреции в диске.

4. Остался неисследованным характер переменности линии HeI 5876, имеющий, как правило, профиль типа обратного P Cyg, но иногда превращающийся в двойной эмиссионноый, либо в чисто абсорбционный, смещенный в красную сторону. Чтобы разобраться в происхождении подобной переменности, требуются наблюдения с большим временным разрещением.

Задачей нашей новой работы было исследование быстрой переменности профилей линий Hα и HeI 5876, наблюдавшейся в спектре HD37806 в течение отдельных ночей. Характерное время подобных изменений соответствует продолжительности таких явлений, как модуляция профилей линий при вращении азимутальных неоднородностей в оболочке объекта или быстрые изменения режима аккреции.

2. *Наблюдения*. Программа наблюдений была проведена в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) на 2.6-м телескопе ЗТШ, у которого в фокусе кудэ был установлен спектрограф ASP-14 с ПЗС-камерой Andor IKON-L, обеспечивающий спектральное разрешение с R ~ 20000. За 4 ночи наблюдений с 7 по 12 ноября 2012г. было получено 40 спектров HD37806 в области линий Hα и HeI 5876. В ходе наблюдений была применена следующая

стратегия. В первую ночь 7/8 ноября было получено 8 спектров в области Hα и 1 - в области линии HeI. В следующую ночь 8/9 ноября, наоборот, в области Hα была сделана только одна экспозиция, зато в линии HeI - 10. В ночь 9/10 ноября из-за погодных условий удалось получить только по одному спектру в каждой из двух спектральных областей, имеющих удовлетворительное качество. По той же причине и в следующую ночь наблюдения не проводились. В ночь 11/12 ноября было получено по 9 пар спектров (в Hα и в HeI) с попеременным изменением угла дифракционной решетки после каждой экспозиции. Полный перечень всех полученных спектров приведен в табл.1, где указана календарная дата наблюдений, время UT на середину экспозиции, спектральная область и отношение сигнал/шум для каждого индивидуального спектра. В случае, когда в данную ночь получался только один спектр в одной из двух спектральных областей, а также для спектров, усредненных за всю ночь, приводится и юлианская дата MJD.

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ

Дата	UT (MJD)	Спектральная область	S/N
7/8 11.2012	22^h38^m	Hα	34
	23^h08^m	Hα	35
	23^h38^m	Hα	36
	00^h08^m	Hα	55
	00^h38^m	Hα	50
	01^h08^m	Hα	46
	01^h38^m	Hα	51
	02^h08^m	Hα	55
	(56239.12)	HeI 5876	65
Средний за ночь	(56239.12)		150
8/9 11.2012	(56239.90)	Hα	89
	22^h10^m	HeI 5876	70
	22^h40^m	HeI 5876	83
	23^h10^m	HeI 5876	83
	23^h40^m	HeI 5876	89
	00^h11^m	HeI 5876	94
	00^h41^m	HeI 5876	98
	01^h11^m	HeI 5876	92
	01^h41^m	HeI 5876	75
	02^h11^m	HeI 5876	82
	02^h41^m	HeI 5876	68
Средний за ночь	(56240.02)	HeI 5876	210
09/10 11.2012	(56240.93)	Hα	45
	(56240.96)	HeI 5876	50
11/12 11.2012	21^h08^m	Hα	51
	21^h28^m	HeI 5876	55
	21^h49^m	Hα	54
	22^h10^m	HeI 5876	71
	22^h30^m	Hα	56
	22^h52^m	HeI 5876	62
	23^h13^m	Hα	69
	23^h38^m	HeI 5876	59
	23^h58^m	Hα	53
	00^h20^m	HeI 5876	60
	00^h41^m	Hα	52
	01^h03^m	HeI 5876	54
	01^h24^m	Hα	44
	01^h44^m	HeI 5876	51
	02^h05^m	Hα	45
	02^h26^m	HeI 5876	30
	02^h47^m	Hα	37
	03^h09^m	HeI 5876	50
Средний за ночь	(56243.00)	Hα	180
	(56243.01)	HeI 5876	180

Подобная стратегия, использованная при наблюдениях, позволяла исследовать спектральную переменность в области обеих линий Hα и HeI 5876 сразу на двух масштабах времени: от ночи к ночи и в течение каждой из ночей наблюдений.

Для обработки данных наблюдений были использованы стандартные программы, применяемые в КрАО.

3. *Результаты наблюдений.*

3.1. ***Переменность профилей линий от ночи к ночи.*** На рис.1 и 2 показаны профили линий Hα и HeI 5876 для каждой их 4-х ночей наблюдений. Это либо единичный профиль, если объект в данной спектральной области в данную ночь наблюдался только один раз, либо профиль, усредненный за ночь, если экспозиции в эту ночь повторялись многократно. Для увеличения отношения сигнал/шум (S/N) все профили были сглажены с

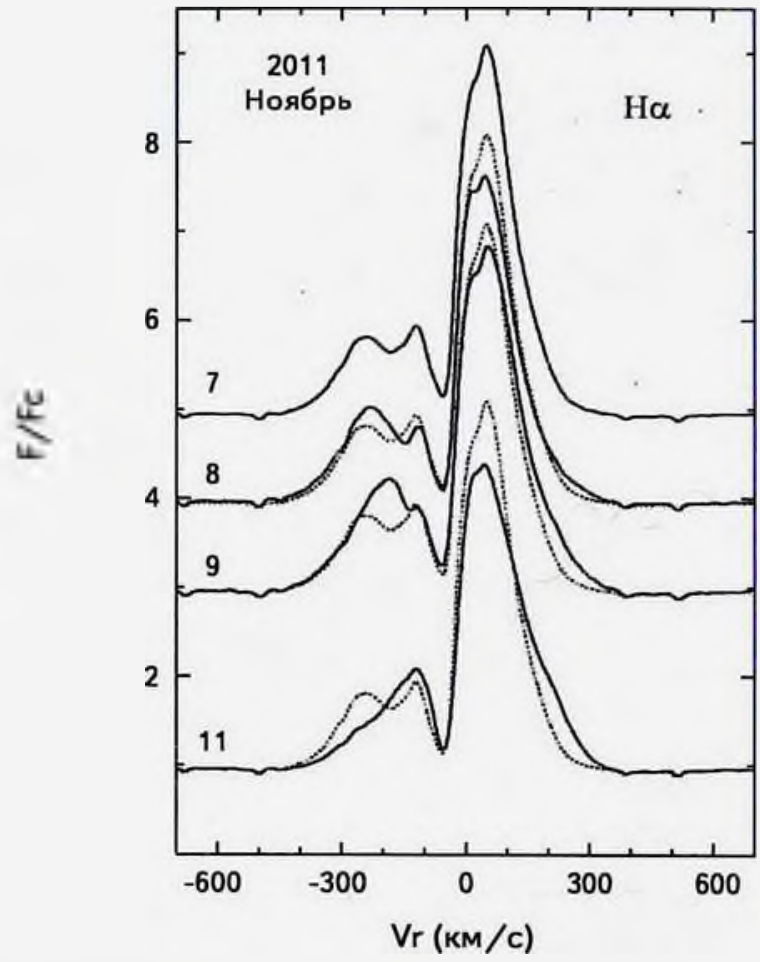

Рис.1. Нормированные профили Hα в спектре HD37806, полученные в ночи 7/8, 8/9, 9/10 и 11/12 ноября 2012г. На рисунке указаны первые даты для каждой ночи. Пунктирной линией для сравнения показан профиль, полученный в первую дату. Шкала лучевых скоростей дана в системе отсчета звезды.

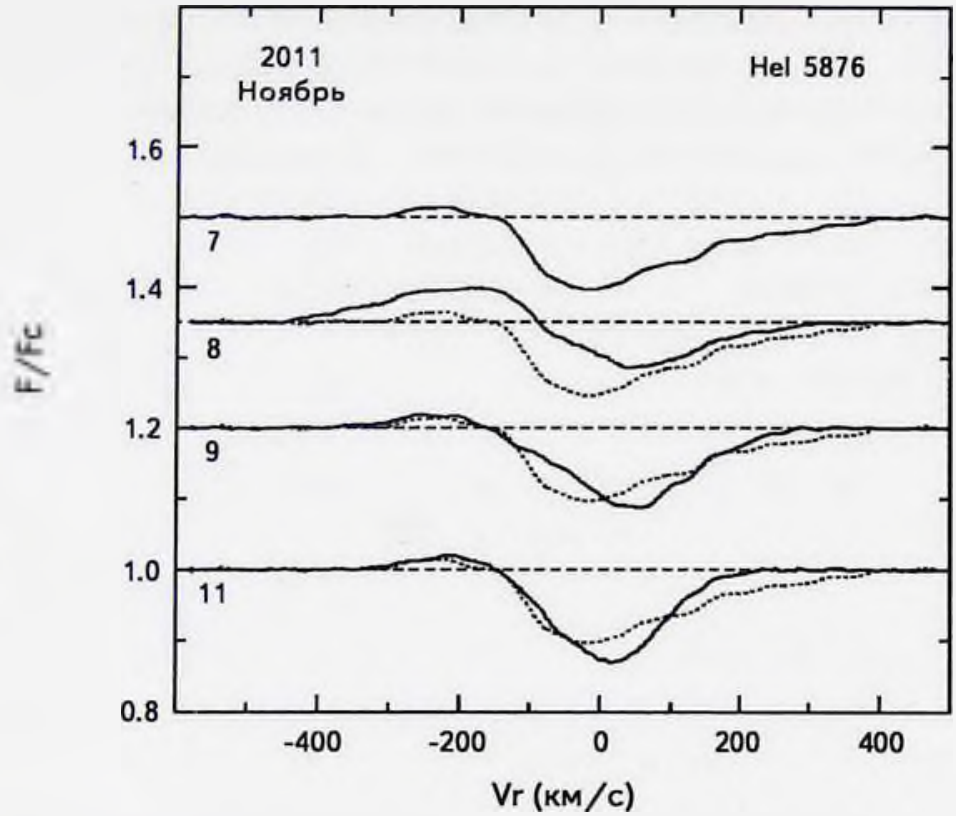

Рис.2. То же, что на рис.1, но для профилей линии HeI 5876. Штриховыми линиями показан уровень непрерывного спектра для каждого профиля.

окном в 15 пикселей (около 0.50 Å). Поскольку такая ширина окна оказывается существенно уже спектральных локальных деталей, смещения которых анализируются в статье, процедура сглаживания не повлияла на результаты анализа. Профили были также приведены к шкале лучевых скоростей, связанной со звездой. При этом, как и в нашей первой статье [1], учитывалась собственная скорость звезды, принятая как +50 км/с.

Профили Hα в эти даты наблюдений имели тип P Cyg III (рис.1), т.е., кроме основного эмиссионного профиля наблюдалась дополнительная эмиссионная компонента, смещенная в голубую сторону и разделенная с основным эмиссионным максимумом глубокой центральной абсорбцией. Переменность от ночи к ночи наблюдалась во всех частях профиля от его голубого края до красного. Практически неизменной оставалась только центральная абсорбционная компонента с лучевой скоростью около -60 км/с. Наиболее примечательные изменения происходили в области голубого эмиссионного максимума. Он демонстрировал тонкую структуру, проявляющуюся в виде мелкой абсорбционной детали, накладывающейся в первую ночь наблюдений на самую вершину этой эмиссионной компоненты (V_r = -180 км/с). Эта деталь изменяла от ночи к ночи свою глубину и лучевую скорость, становясь со временем все мельче и смещаясь

в сторону нулевой лучевой скорости. В ночь 8/9 ноября она располагалась уже на $V_r = -150$ км/с, а в следующую ночь 9/10 ноября - на $V_r = -135$ км/с. В последнюю ночь 11/12 ноября она исчезла совсем, а сама голубая эмиссионная компонента стала существенно уже, ее голубое крыло понизилось в интенсивности.

Линия HeI имела в эти ночи профиль типа обратного P Cyg (рис.2) и показывала существенные изменения, главным образом, в области красной абсорбционной компоненты. Голубая эмиссионная компонента в 3 даты из 4-х выглядела примерно одинаково, но в ночь 8/9 ноября вдруг стала гораздо интенсивнее. В последующие ночи она вернулась в прежнее состояние.

3.2. *Переменность профилей в течение отдельных ночей.* Для исследования наиболее быстрых изменений профилей линий с характерным временем порядка одного часа, для отдельных ночей были построены разностные профили (residuals) этих линий, рассчитанные как разность каждого индивидуального профиля и среднего за ночь. На рис.3 и 4 показаны изменения разностных профилей $H\alpha$ в течение ночей 7/8 и 11/12 ноября. В большинстве частей профиля, главным образом, в центральной части и в красном крыле эти изменения трудно систематизировать, так как переменность возникает в протяженном пространственном объеме и носит, по-видимому, многокомпонентный характер. Более однозначная картина наблюдается в области вторичного голубого максимума. Эта часть профиля формируется в более ограниченном объеме оболочки, а именно в том, который экранирует звезду от наблюдателя. При этом уменьшается число всевозможных факторов, влияющих на наблюдаемую переменность. Так, в ночь 7/8 ноября (рис.3) отчетливо видна стоячая волна на последовательно размещенных разностных профилях, соответствующая по лучевым скоростям положению мелкой абсорбционной детали в области максимума голубой эмиссионной компоненты, а в ночь 11/12 ноября наблюдалась сдвоенная стоячая волна, охватывающая как раз ту область голубого крыла этой компоненты, где происходили наиболее масштабные изменения между 9 и 12 ноября (см. рис.1). В данном случае под "стоячей волной" понимаются изменения интенсивности локальных деталей на последовательной серии разностных профилей линии, не сопровождающихся смещениями вдоль шкалы лучевых скоростей.

Что касается линии HeI 5876, то картина изменений ее профиля в течение отдельных ночей была более простая по сравнению с $H\alpha$. Переменность, опять же в виде стоячей волны на последовательности разностных профилей наблюдалась только в области красной абсорбционной компоненты: в ее голубом крыле в ночь 8/9 ноября (рис.5) и в ее красном крыле - в ночь 11/12 ноября (рис.6). Интересно то, что сильная переменность в крыле голубой эмиссионной компоненты, возникшая между 7 и 9 ноября на усред-

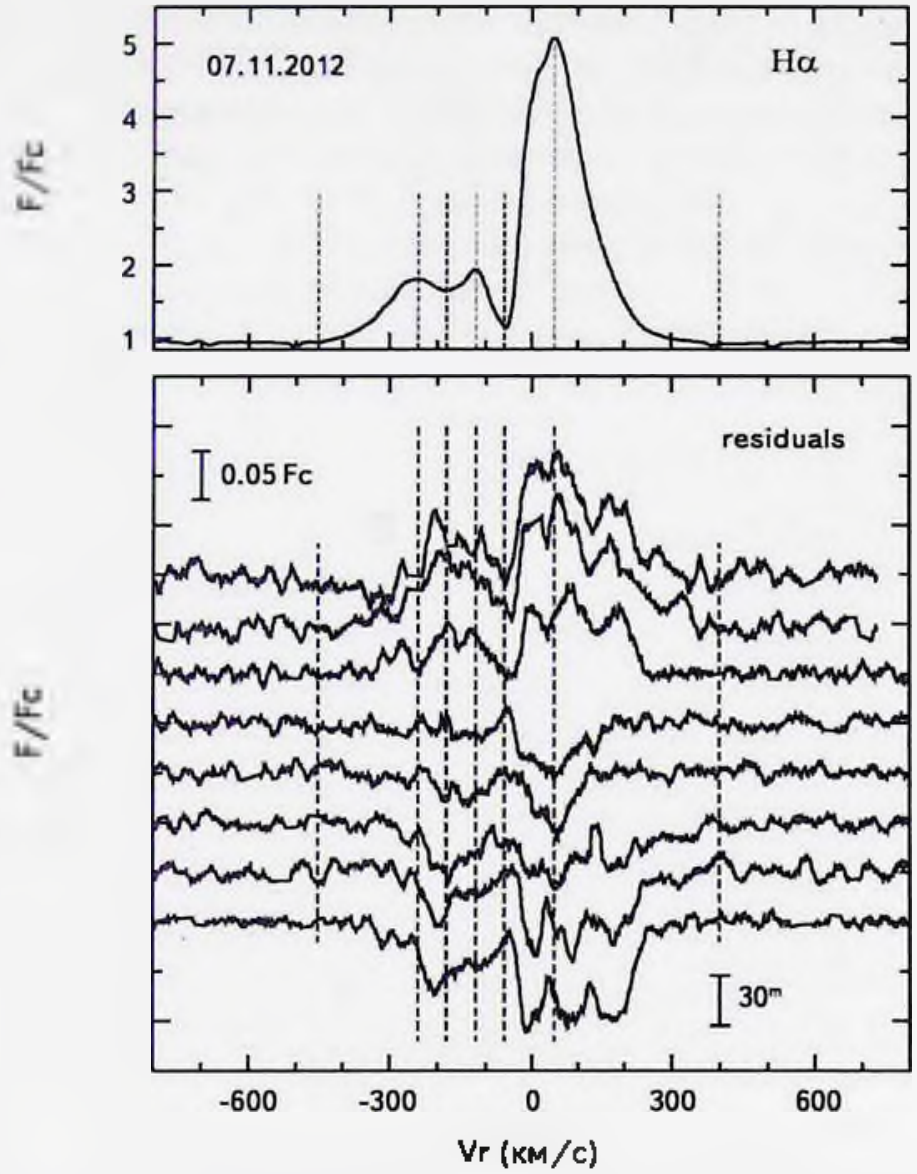

Рис.3. Разностные профили (residuals) линии Hα, построенные относительно профиля, среднего за ночь, полученные в ночь 7/8 ноября. На рисунках указаны масштабы для шкалы интенсивностей и интервала времени между экспозициями. Ход времени на рисунке направлен сверху вниз. На верхней панели для сравнения показан профиль линии, средний за ночь. Штриховыми линиями отмечены лучевые скорости наиболее характерных элементов профиля

ненных за ночь профилях (см. рис.2), никак не проявилась в поведении разностных профилей в ночь 8/9 ноября.

4. *Обсуждение результатов*. Переменность профилей Hα в спектре HD37806, наблюдавшаяся как от ночи к ночи, так и в течение отдельных ночей, в целом хорошо соответствует представлениям о дисковых ветрах Ae/Be звезд Хербига, имеющих неоднородную азимутальную структуру. Поведение мелкой локальной абсорбционной детали, монотонно смещающейся в течение нескольких суток от области максимума голубого вторичного эмиссионного

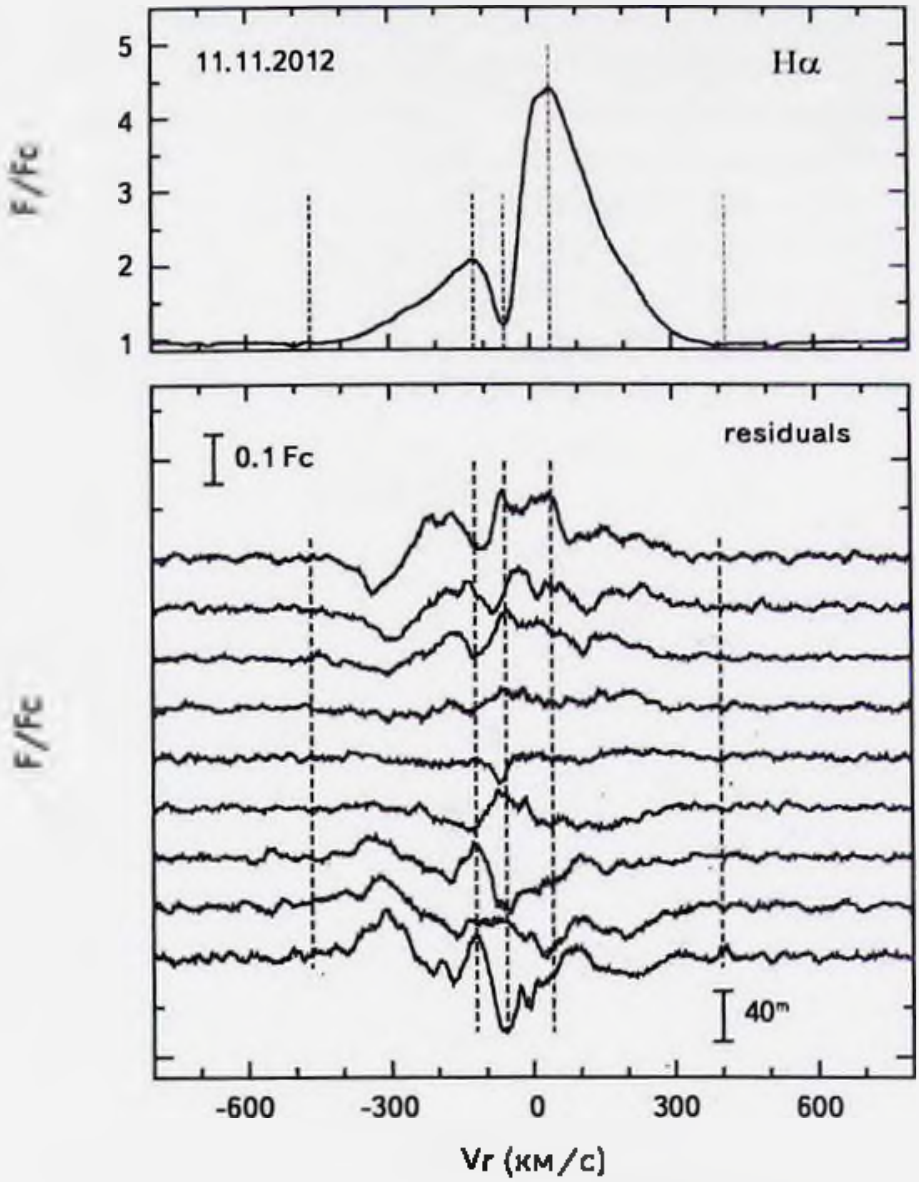

Рис.4. То же, что на рис.3, но для ночи 11/12 ноября.

пика в сторону нулевой скорости и полностью исчезнувшей в ночь 11/12 ноября, можно объяснить вращением долгоживущей струи на границе зоны ветра. Если струя сформировалась в диске на некотором расстоянии от звезды, то угловая скорость вращения места ее образования (основания струи) и, следовательно, самой струи, может быть меньше, чем у самой звезды из-за кеплеровского закона вращения в диске. Поэтому она может оставаться видимой в течение времени, превышающего период вращения звезды, т.е., в течение нескольких дней. Предположим, что эта струя пересекает луч зрения в той своей части, где разгон вещества за счет магнитной центрифуги уже прекратился, и ускорение ветра сменилось его замедлением. В этой области вращение истекающего вещества уже не твердотельное, и форма струи

из-за быстрого уменьшения угловой скорости вращения при удалении от звезды приобретает изогнутый вид в сторону, противоположную направлению вращения. Периферийная часть струи при ее вращении будет отставать по фазе от ее основания. Поэтому наблюдатель может видеть в первую дату часть струи, близкую к ее основанию, где скорость ветра еще достаточно велика, а в последующие даты - все более удаленные области с меньшей скоростью истечения. И, наконец, через несколько дней подобная струя может просто исчезнуть из поля зрения, либо диссипировать, либо переместиться в область невидимую для наблюдателя. Такая интерпретация очень хорошо объясняет

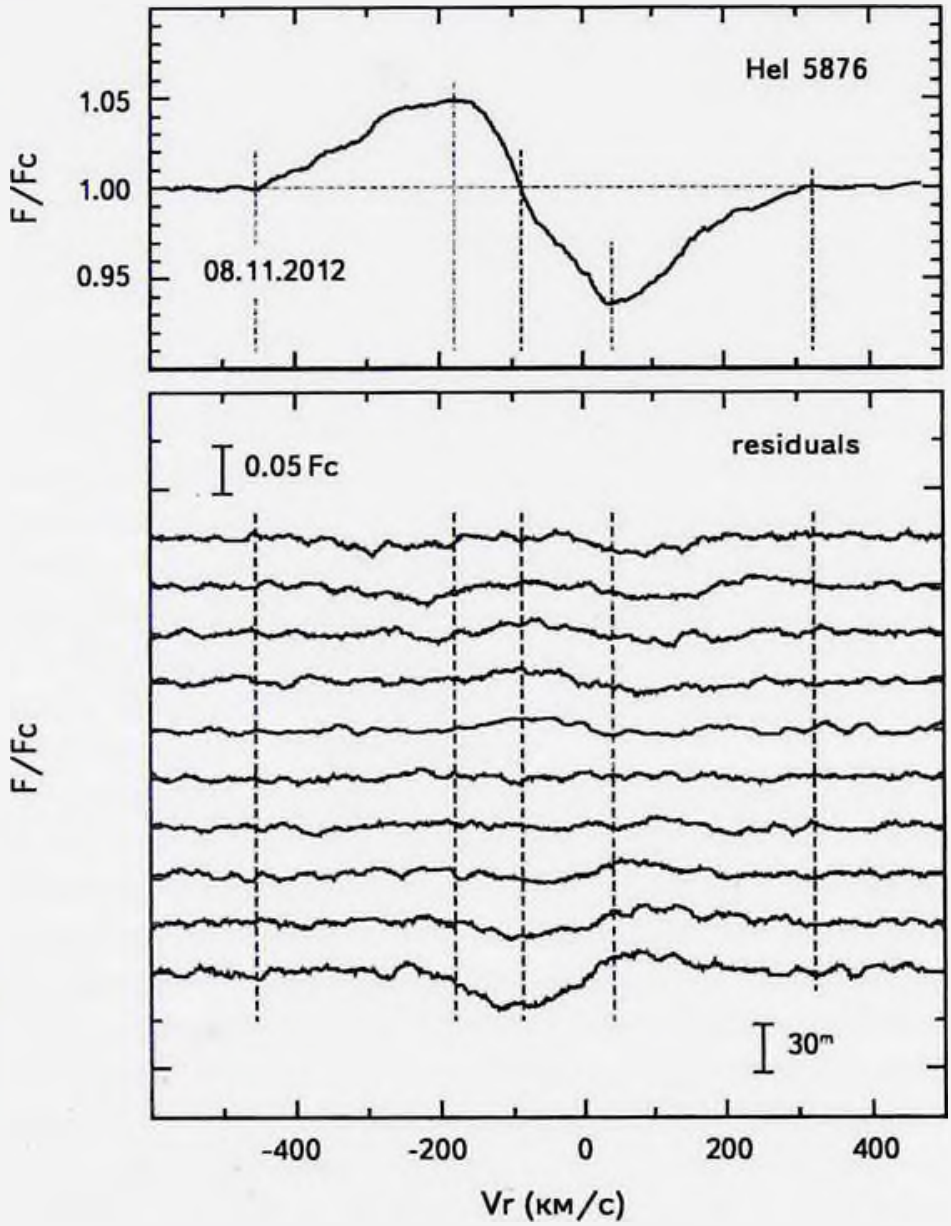

Рис.5. То же, что на рис.3 и 4, но для профилей линии HeI 5876, полученных в ночь 8/9 ноября. На верхней панели штриховой линией дополнительно отмечен уровень непрерывного спектра.

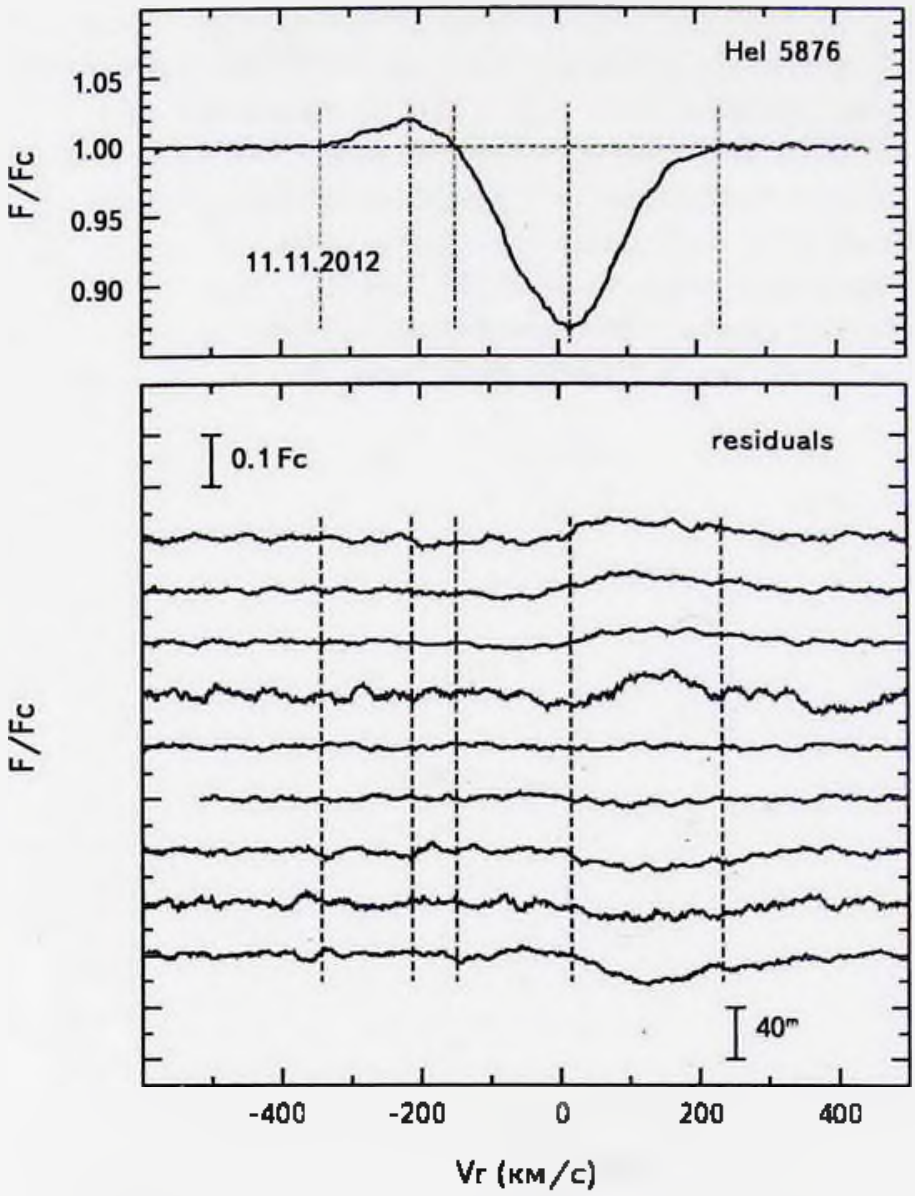

Рис.6. То же, что на рис.5, но для ночи 11/12 ноября.

картину переменности в Hα , наблюдавшуюся с 7 по 12 ноября (см. рис.1). Понижение интенсивности голубого крыла вторичного эмиссионного пика в ночь 11/12 ноября может быть связано с появлением на луче зрения новой вращающейся азимутальной неоднородности, наблюдаемой на больших отрицательных лучевых скоростях.

Появление стоячих волн в области отрицательных лучевых скоростей на последовательно расположенных разностных профилях Hα , построенных для объектов с признаками ветра на луче зрения (профиль типа P Cyg), находится также в соответствии с предсказаниями о существовании струйных неоднородностей в зоне ветра. Это явление в применении к Ae/Be звездам Хербига

неоднократно отмечалось еще в 90-х годах прошлого столетия (например, работа [7], посвященная исследованию HD163296, или [8] о AB Aur, и т.д.). Как показывает практика построения теоретических профилей линий, образующихся в ветре, подобные стоячие волны возникают, когда вектор вращения струи в области между звездой и наблюдателем направлен параллельно поверхностям равных лучевых скоростей (ПРЛС). В этом случае струя будет двигаться вдоль ПРЛС, соответствующих отрицательным лучевым скоростям в некотором ограниченном диапазоне их значений. При этом изменения интенсивностей на этих лучевых скоростях в течение времени прохода струи около луча зрения будут наблюдаться без смещения вдоль шкалы V_r. На разностных профилях линии это будет наблюдаться в виде эффекта "стоячей волны". В разделе *Приложение* в конце статьи (рис.П1), в качестве примера приводятся результаты расчетов теоретических разностных профилей линии $H\alpha$ для ветра с вращающейся струей, выполненных на основе методики, изложенной в [9].

Для ветра с любым законом изменения скорости с расстоянием характерна ориентация ПРЛС ортогонально лучу зрения в пространстве между звездой и наблюдателем. Соответствующие иллюстрации для разных типов кинематики ветра приводились еще в 1984г. в обзорной работе Гринина ([10], рис.2), а также в работе Погодина [7] для ветра, где ускорение сменяется замедлением.

Что касается интерпретации переменности в линии HeI 5876, ситуация менее определенная. Рис.2, иллюстрирующий изменения профиля линии от ночи к ночи не дает дополнительной подсказки. Для разумного объяснения наблюдающихся изменений в красной абсорбционной части профиля не хватает временно́го разрешения. Остается непонятным также неожиданно появившийся "всплеск" интенсивности голубого эмиссионного компонента только на одну ночь 8/9 ноября.

Между тем, анализ поведения разностных спектров, полученных в течение 2-х ночей 8/9 и 11/12 ноября, позволяет сделать новые важные выводы об особенностях околозвездной оболочки HD37806. На них, так же как и у $H\alpha$, наблюдается переменность в виде стоячих волн, только в области абсорбционного красного компонента линии. В отличие от $H\alpha$, где переменность разностных профилей видна во всех частях профиля от его голубого конца до красного, у линии HeI 5876 нигде, кроме красного абсорбционного компонента, никакая переменность не была замечена. Остается также загадкой, почему в одну из ночей (8/9 ноября) увеличение интенсивности голубого эмиссионного пика вдоль всей широкой полосы отрицательных скоростей от -450 до 0 км/с (рис.2) никак не сопровождалось переменностью на разностных профилях в голубом эмиссионном крыле именно в эту наблюдательную ночь (рис.5).

Чтобы понять, каким образом могли возникнуть стоячие волны изменений интенсивности в области красной абсорбции, нужно рассмотреть форму

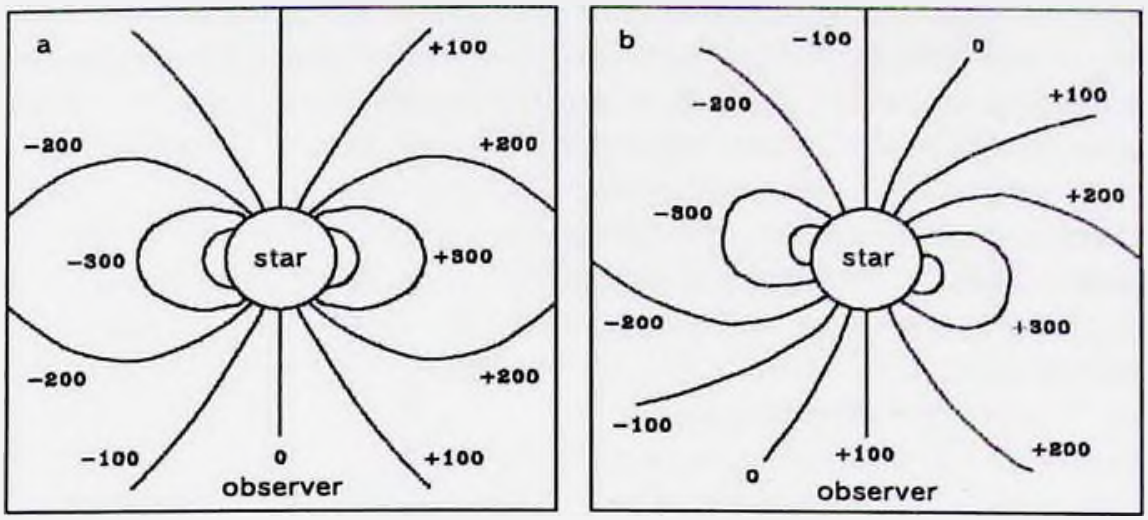

Рис.7. Контуры поверхностей равных лучевых скоростей (ПРЛС), построенные для двух типов кинематики газа в диске: а) кеплеровский диск без аккреции и b) тот же диск, но с постоянной скоростью аккреции 100 км/с. Величины лучевых скоростей рассчитывались для параметров данной конкретной звезды. Для простоты диск ориентирован "в ребро" относительно наблюдателя, а его вращение происходит против часовой стрелки. Сетка скоростей дана с интервалом 100 км/с. Для отдельных ПРЛС, соответствующих различным лучевым скоростям, величины этих скоростей отмечены на рисунках.

ПРЛС для разных типов возможной кинематики газа в области формирования линии HeI 5876. Рис.7 иллюстрирует контуры ПРЛС в плоскости аккреционного диска, который, для простоты, виден "с ребра" для: а) чисто кеплеровского диска и б) для того же диска с добавлением аккреции с постоянной скоростью 100 км/с. Это вариант дисковой аккреции при отсутствии у звезды магнитосферы. В случае наклона плоскости диска к лучу зрения под углом $90° - i$, характер распределения ПРЛС останется таким же, только все лучевые скорости надо будет умножить на $\sin i$. Можно рассмотреть два типа возможных явлений, которые могли бы привести к появлению быстрой переменности профиля линии с характерным временем порядка одного часа. Это: а) изменение ориентации оболочки, содержащей локальные неоднородности типа струй или сгущений, относительно наблюдателя при ее вращении (вращательная модуляция) и б) быстрые изменения темпа аккреции. Из рисунков видно, что в пространственном районе между звездой и наблюдателем вблизи луча зрения контуры ПРЛС не ориентированы ортогонально лучу зрения. Любая локальная неоднородность в аккреционном потоке, движущемся в пределах диска, в своем вращении будет в любом случае пересекать различные ПРЛС,

что должно привести к переменности типа бегущих, а не стоячих волн. Если предположить эпизодическое быстрое изменение темпа аккреции, охватывающее весь диск (в виде плотного или более горячего кольца), то вызванная им переменность будет наблюдаться во всех частях профиля, а не только в отдельных частях его красной абсорбционной компоненты.

Единственная возможность объяснить наблюдаемую в линии гелия картину переменности в виде стоячих волн остается, если предположить, что аккреция на HD37806 имеет магнитосферный характер. Вещество внутри магнитосферы не распределено в пространстве однородно, оно имеет вид отдельных аккреционных потоков, которые сами по себе уже являются вращающимися азимутальными неоднородностями, если только магнитная ось имеет хотя бы небольшой угол наклона к оси вращения. Если такая неоднородность окажется между звездой и наблюдателем вблизи луча зрения, то она будет проходить вдоль ПРЛС специфической формы, построить которые затруднительно без модельных расчетов, учитывающих как искривление аккреционного потока, движущегося вдоль замкнутых магнитных силовых линий, так и его отклонение от плоскости диска. Некоторое представление о форме таких ПРЛС дает рис.8, построенный на основе упрощенной модели и иллюстрирующий, как переход аккреции в магнитосферный режим может повлиять на форму

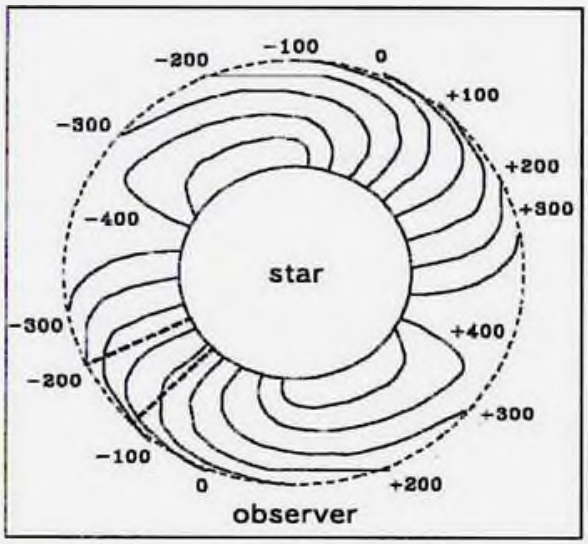

Рис.8. Рисунок, иллюстрирующий формы ПРЛС, для кинематики, соответствующей режиму магнитосферной аккреции с радиусом магнитосферы $Rm = 2R_{ns}$ (тонкая штриховая линия). Рисунок построен для упрощенной модели, в которой аккрецируемый газ, двигаясь с постоянной радиальной скоростью +100 км/с (как на рис.7b), начиная с расстояния Rm, падает на звезду уже в режиме свободного падения и вращается твердотельно со звездой. Направление движения - против часовой стрелки. Азимутальная неоднородность, приближающаяся в своем вращении к области между звездой и наблюдателем, показана толстой штриховой линией.

ПРЛС. Согласно этой модели, газ в диске на больших расстояниях от звезды аккрецирует с постоянной скоростью 100 км/с (см. рис.7b), а начиная с некоторого расстояния от звезды Rm (граница магнитосферы), начинает падать на звезду со скоростью свободного падения и вращается твердотельно с самой звездой. Для реальных ситуаций картина ПРЛС будет существенно усложняться, ее уже можно будет представить только в трех измерениях. Кроме угла наклона диска на форму поверхностей будет влиять также степень искривления потоков газа в каждой точке магнитосферы, угол между магнитной осью и осью вращения, а также фаза скорости вращения, в зависимости от которой форма всех ПРЛС будет изменяться. Но тип общей конфигурации поверхностей будет определяться в основном спецификой кинематики аккрецируемого газа при подобном режиме. У границы магнитосферы лучевая скорость будет определяться преимущественно скоростью вращения, так как из-за закона твердотельности она в этой области будет максимальна, а радиальная скорость - минимальна. Вблизи поверхности звезды будет обратная ситуация, скорость вращения сравняется со скоростью вращения звезды, а радиальная скорость увеличится в режиме свободного падения. Именно она и даст доминирующий вклад в лучевую скорость. Такое изменение роли разных компонент скорости аккрецируемого газа в формировании лучевой скорости при его движении от границы магнитосферы до поверхности звезды и определяет специфическую изогнутую форму ПРЛС, показанную на рис.8 для упрощенного случая. Поэтому этот рисунок может быть использован как иллюстрация без нарушения общности анализа. На рисунке видно, что ПРЛС в области магнитосферы будут иметь контуры, ортогональные лучу зрения. Как и в случае с ветром, появление стоячих волн на разностных профилях здесь вполне объяснимо, причем именно в области красной абсорбции, за формирование которой ответственен аккрецируемый газ в области между звездой и наблюдателем. Иллюстрация появления этого эффекта приведена в разделе *Приложение* (рис.П2).

Таким образом, можно считать, что наблюдаемая быстрая переменность профиля линии HeI 5876 в спектре HD37806 может служить еще одним косвенным подтверждением существования магнитосферы у этого объекта. Измерения магнитного поля этого объекта путем регистрации и анализа зеемановского расщепления спектральных линий не дали положительного результата (см. ссылки в работе [1]). У объекта с таким высоким значением проекционной скорости большая ширина линий не позволяет диагностировать такой тонкий эффект, как зеемановское расщепление. Тем не менее, прямым подтверждением магнитосферной аккреции было бы обнаружение циклической переменности отдельных спектральных линий (таких как HeI 5876) с периодом, равным ожидаемому периоду вращения звезды. Но для такого исследования

нужен больший по объему спектроскопический материал. Поэтому, на данном этапе приходится искать различные косвенные признаки наличия магнитосферы.

Есть также основания полагать, что рассмотренный пример не единственный. В 2004г. был обнаружен точно такой тип переменности линии HeI 5876 в спектре другого объекта - Ae/Be звезды Хербига HD31648 ([11], рис.5, левый фрагмент).

5. *Заключение*. Спектроскопические наблюдения Ae/Be звезды Хербига HD37806 были проведены в течение 4-х ночей в ноябре 2012г. на 2.6-м телескопе ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории. Задачей исследования был анализ быстрой переменности профилей околозвездных линий на временном масштабе от ночи к ночи, а также в течение отдельных ночей. Всего было получено 40 спектров в области линий Hα и HeI 5876. В результате было установлено что:

1. Быстрая переменность профилей Hα хорошо объясняется в рамках предположения о вращательной модуляции профилей азимутальными неоднородностями в зоне ветра.

2. Переменность профилей линии HeI 5876, наблюдающаяся в течение отдельных ночей и имеющая вид стоячих волн интенсивности, возникающих в области красной абсорбционной компоненты, может быть дополнительным свидетельством существования у HD37806 магнитосферы, содержащей отдельные локальные потоки аккрецируемого газа.

Авторы выражают свою благодарность РФФИ в рамках научного проекта № 18-02-00554 (18) за поддержку при выполнении этой работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. *Формирование различных типов быстрой переменности профиля* Hα, *проиллюстрированное с использованием двумерной модели ветра с вращающейся струей.* Расчеты были выполнены с применением теории переноса излучения в околозвездной линии для движущихся сред (метод Соболева) по методике, описанной в [9]. Для данной модели кинематика и распределение плотности газа в основном ветре и в струе описывается формулами:

Радиальная скорость: $v(r) = Vo\ (r/Rstar)^p$ $(r < R_L)$ и $v(r) = Vm\left(\gamma^2 + \left(1-\gamma^2\right)\times\right.$ $\left.\times Rstar/r\right)^{0.5}$ $(r > R_L)$, где $\gamma = V\infty/Vm$, $Vm = v(R_L)$ - максимальная скорость ветра, $V\infty = 0$ - асимптотическая скорость, $R_L = 2.8Rstar$ - граница ускорения ветра магнитной центрифугой, $Vo = 400$ км/с, $p = 0.5$; Скорость вращения: $u(r) = Uo\ r/Rstar$ $(r < Ra)$ и $u(r) = UoRa^2/(r\ Rstar)$ $(r > Rstar)$, $Ra = R_L$, $Uo = 100$ км/с; Плотность: $n(r) = No\ Rstar^2Vo/(r^2v(r))$ - уравнение неразрывности, $No = 5\cdot10^{11}$ см$^{-3}$ (основной ветер) и $2\cdot10^{12}$ см$^{-3}$ (в струе). Внешняя граница

ветра со струей ограничена 5Rstar.

Для расчетов была использована звезда с $T_{эфф}$ = 10000 K, наклон оси вращения к лучу зрения составлял 90°, а угол раствора струи был 36°, ее

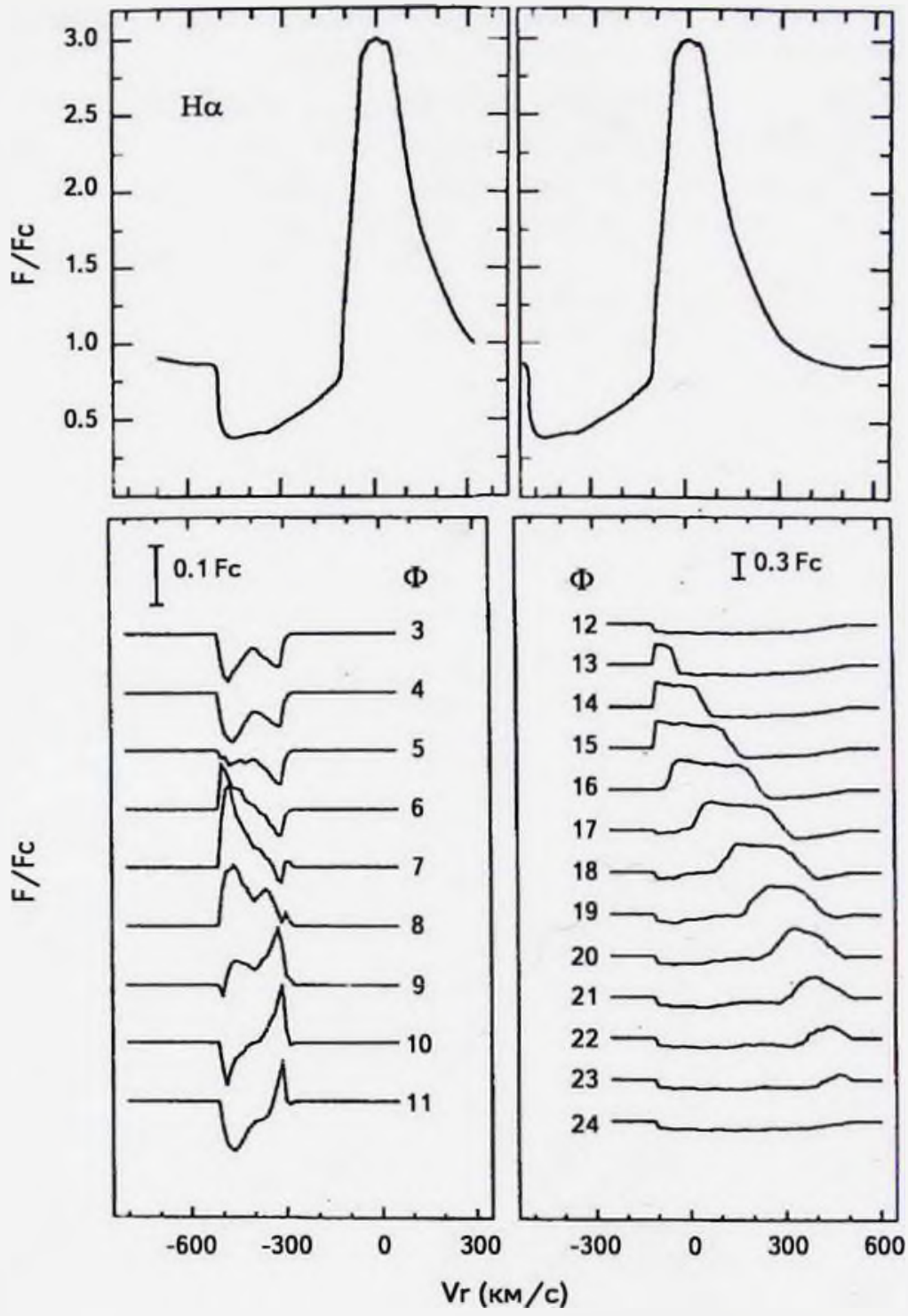

Рис.П1. Иллюстрация различных типов быстрой переменности профиля Hα , формирующегося в ветре с вращающейся струей. Все обозначения и пояснения приведены в тексте.

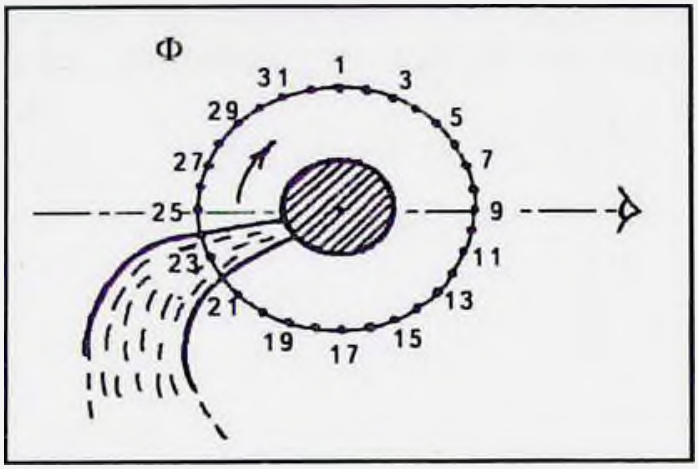

Рис.П1. Окончание.

форма определялась, исходя из конкретной кинематики. Для определенности все вычисления относятся к линии Hα. Расчеты были произведены для 32 фаз Ф ориентации струи относительно наблюдателя, равномерно распределенные по окружности (см. рис.П1, внизу). Усредненный профиль типа P Cyg показан в верхней части рисунка, а разностные профили (индивидуальный профиль с вычетом среднего) для разных фаз ориентации струи - в его средней части. На рисунке видно, что на фазах от (3) до (11) на разностных профилях появляются "стоячие волны" в области лучевых скоростей от -500 до - 300 км/с, а на фазах (12)-(24) - "бегущая волна", проходящая вдоль шкалы Vr путь от -100 до -500 км/с. Картина полностью воспроизводит характер изменения разностных профилей Hα, наблюдавшийся в спектре Ae/Be звезды Хербига HD163296 в 1992г. [7].

2. *Формирование стоячих волн на разностных профилях линии HeI, при прохождении вращающейся локальной азимутальной неоднородности между звездой и наблюдателем для случая магнитосферной аккреции.* Геометрические параметры неоднородности в виде струи показаны на рис.8. Кинематические параметры газа в струе были следующие: скорость вращения u(r) = Uo r/Rstar, Uo = 160 км/с - экваториальная скорость вращения звезды, радиальная скорость $v(r) = Vterm\ (Rstar/r - Rstar/Rm)^{0.5} + Vdisk$, где Vterm = 635 км/с - вторая космическая скорость, Rm = 2 Rstar - радиус магнитосферы, а Vdisk - скорость аккреции в диске на дальней границе магнитосферы.

Расчеты были проведены для 9 фаз ориентации струи относительно луча зрения, равномерно распределенных между углом оси струи и лучом зрения от -90° до +90° (см. рис.П2, время направлено сверху вниз). Уравнение переноса не решалось, собственное излучение струи не учитывалось. Учитывался только эффект экранировки звезды полностью непрозрачной струей. На рисунке

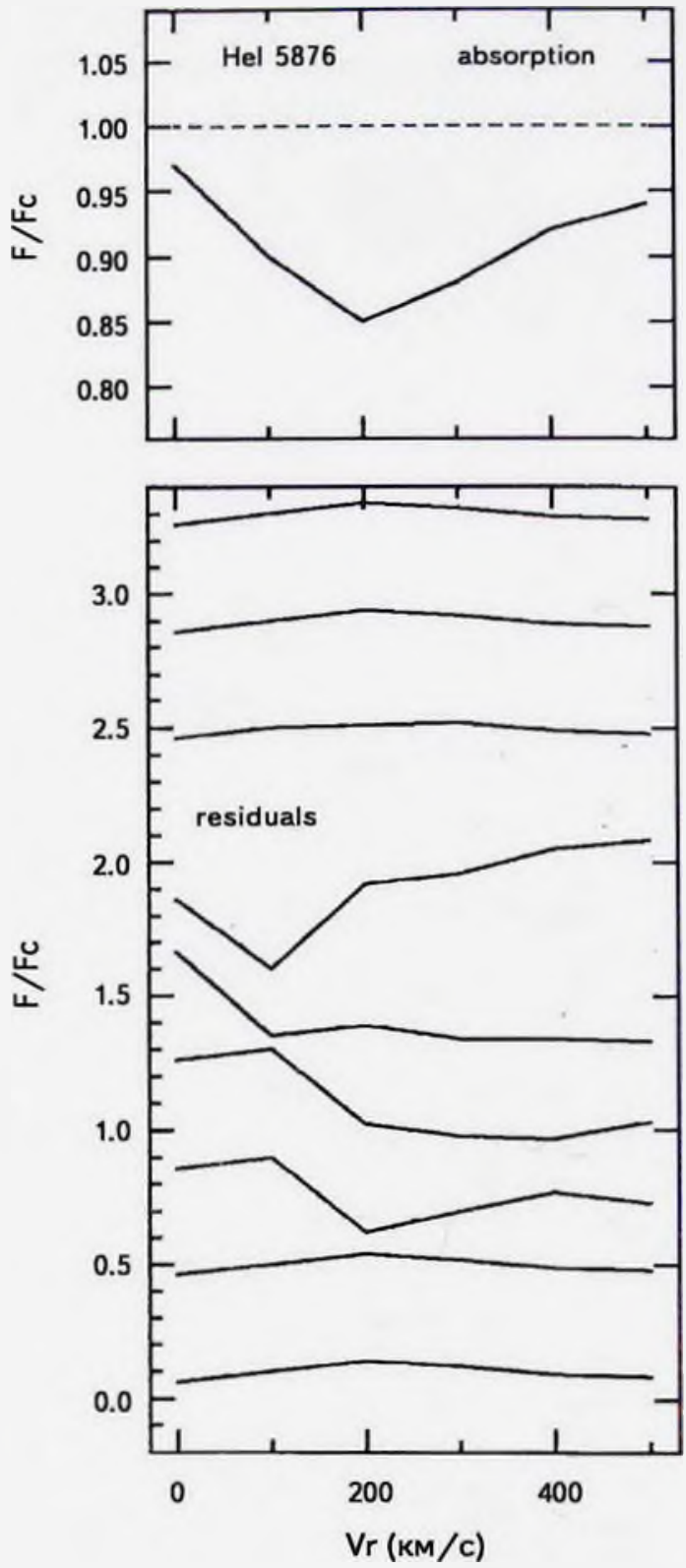

Рис.П2. Усредненный расчетный профиль красной абсорбционной компоненты линии HeI при режиме аккреции через магнитосферу (верхняя часть рисунка) и разностные профили для 9 фаз ориентации вращающейся азимутальной неоднородности относительно луча зрения (нижняя часть рисунка). Параметры модели описаны в тексте.

видно, что стоячая волна на разностных профилях появляется при угле наклона оси симметрии струи к лучу зрения от -45° до +45°.

[1] Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
e-mail: mikhailpogodin@mail.ru
[2] Крымская астрофизическая обсерватория РАН

SHORT-TERM SPECTROSCOPIC VARIABILITY OF THE HERBIG Ae/Be STAR HD37806

M.A.POGODIN[1], O.V.KOZLOVA[2], I.YU.ALEKSEEV[2], S.E.PAVLOVSKIY[1]

We present results of the analysis of spectroscopic variability of the Herbig Ae/Be star HD37806 on the night-to-night timescale and also during individual nights. The observations were carrying out in November 2012 with the coude spectrograph ASP-14 installed at the 2.6-m Shajn telescope of the Crimean astrophysical observatory. During four nights 40 spectra near the Hα and HeI 5876 lines have been obtained. The analysis of the observed variability of profiles of these lines showed that: a) the Hα profile variations can be satisfactorily explained in the framework of assumption on azimuthal inhomogeneities inside the wind zone; b) fast variability of the HeI 5876 line in the form of standing intensity waves in the region of the red absorption component can be an additional evidence of the presence of a magnetosphere in HD37806 containing local accretion flows rotating rigidly together with the magnetic field of the star.

Keywords: *Herbig Ae/Be stars: circumstellar envelopes: disk accretion: wind: magnetosphere: HD37806*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.A.Pogodin, S.E.Pavlovskiy, O.V.Kozlova et al.*, Astrophysics, **61**, 9, 2018.
2. *D. de Winter, van den Ancker, A.Maira et al.*, Astron. Astrophys., **380**, 609, 2001.
3. *T.Böhm, C.Catala*, Astron. Astrophys., **301**, 155, 1995.
4. *S.M.Rusinski, K.Zwintz, M.Hareter et al.*, Astron. Astrophys., **522**, 113, 2010.
5. *V.P.Grinin, I.S.Potravnov, I.V.Ilyin, S.G.Shulman*, Astron. Lett, **41**, 407, 2015.

6. *S.G.Shulman*, Astrophysics, **58**, 258, 2015.
7. *M.A.Pogodin*, Astron. Astrophys., **282**, 141, 1994.
8. *N.G.Beskrovnaya*, *M.A.Pogodin*, *I.D.Najdenov*, *I.I.Romanyuk*, Astron. Astrophys., **298**, 585, 1995.
9. *M.A.Pogodin*, Astrophysics, **24**, 279, 1986.
10. *V.P.Grinin*, *Astrophysics*, **20**, 190, 1984.
11. *N.G.Beskrovnaya*, *M.A.Pogodin*, Astron. Astrophys., **414**, 955, 2004.