АСТРОФИЗИКА

TOM 50

НОЯБРЬ, 2007

ВЫПУСК 4

ОДИН ИЗ ПРИЗНАКОВ ПРЕДСТОЯЩЕГО МИНИМУМА БЛЕСКА У ЗВЕЗДЫ С ПЕРЕМЕННОСТЬЮ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ

А.Э.РОЗЕНБУШ Поступила 6 апреля 2007 Принята к печати 18 июля 2007

Рассматривается предположение, что появление в линиях резонансного дублета натрия компонента с отрицательным смещением около -25 км/с может служить индикатором скорого начала минимума визуального блеска у звезды с переменностью типа R Северной Короны. С 1994г. он наблюдался три раза в связи с минимумом блеска, из них два раза за сутки или несколько суток до начала падения блеска (1995, 1998гг.) и, возможно, в первые сутки минимума (2003г.). Подобные изменения отмечены в одной из линий инфракрасного триплета кальция Са II на длине волны 854.2 нм.

Ключевые слова: звезды:тип R Северной Короны:резонансные линии натрия

1. Введение. Звезды с переменностью типа R Северной Короны (RCB) выделяются среди переменных звезд уникальными временными ослаблениями блеска глубиной до 8 звездных величин и продолжающимися более сотни суток; спектральные и поляриметрические характеристики звезды при этом также испытывают значительные изменения (см. обзоры [1,2]). Конденсация пыли на луче зрения признана причиной ослаблений блеска. Из наблюдений стало ясно, что процесс конденсации связан с пульсациями звезды [3,4]. Ведущая роль пульсаций в глобальной переменности звезды стимулировала исследование воздействия пульсаций на параметры атмосферы звезды. Была смоделирована ситуация, когда конденсация пыли становится возможной на расстоянии 2-3 радиуса звезды от ее поверхности в условиях эффективной температуры около 7000 К [5]. Но остается много вопросов, связанных особенно с началом минимума.

Одной из сложностей в исследовании звезд данного типа переменности является непредсказуемость момента начала минимума блеска или интервала времени, когда можно ожидать начала очередного минимума блеска. Установленная нами [6,7] цикличность в чередовании минимумов блеска у R CrB еще не дает возможности указать время начала предстоящего минимума блеска. Для DY Per, одной из самых холодных звезд с данным типом переменности, в исследовании [8] найдена бо́льшая определенность в следовании минимумов: минимумы блеска у этой звезды следуют с периодом 792 суток. Но изменений характеристик звезды, которые указывали бы на предстоящий минимум блеска пока ни у одной звезды не обнаружено. Было наше высказывание [9], что искомым изменением может быть "сбой" в пульсации звезды, когда за две пульсации до последовавшего в 1972г. минимума визуального блеска совпали экстремумы (минимумы) блеска и показателя цвета в пульсации RY Sgr; это сопровождалось также необычайным ослаблением полос молекулы C, [10].

В минимуме блеска R CrB в 1985г. при незначительном уменьшении блеска (менее одной десятой звездной величины) было отмечено появление дополнительных компонентов в ядрах линий H и K Ca II [11]. В [12] непосредственно перед началом падения блеска R CrB в 1995г. зарегистрировали появление дополнительного абсорбционного компонента в резонансных линиях D Na I, который показал смещение -30 км/с относительно фотосферных линий; этот же компонент наблюдался в 1994г. после восстановления нормального блеска [13]. Но эти изменения не интерпретировались как признаки предстоящего минимума блеска или как условия, необходимые для образования пылевого слоя на луче зрения.

Настоящий анализ данных спектральных наблюдений, наших собственных и опубликованных другими авторами, был сделан с целью поиска возможной связи между появлением компонента, смещенного до -30 км/с, и последующим началом минимума визуального блеска.

2. Наблюдения и их редукция. С 1998г. на 2.6-м телескопе ЗТШ НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория" МОН Украины (КрАО) проводится мониторинг профилей резонансных линий натрия D Na I и одной из субординатных линий инфракрасного (ИК) триплета Ca II на длине волны λ 854.2 нм в спектрах избранных звезд с переменностью типа RCB в активном и спокойном состояниях звезды.

Наблюдения были выполнены с различными матрицами и камерами. Камеры AT-200 CCD Camera System и Photometrics SDS-9000 были оснащены ПЗС матрицами, имеющими 1024 x 256 элементов; камера ASTROMED-2000 - матрицей EEV P8600 с 576 x 385 элементами. Регистрировались участки спектра протяженностью 3.0-6.4 нм, центрированные на линии натрия и кальция. При наблюдениях одиночные экспозиции были не более 30 мин и в сумме могли достигать 180 мин. Результирующие спектрограммы в последнем случае были получены сложением нескольких изображений. Инструментальный профиль имел полную ширину на половине максимума интенсивности FWHM от 0.015 нм для щели 0.2 мм до 0.046 нм для щели 1.0 мм или 2.3 и 7 пикселей матрицы, соответственно. UJкала длин волн задавалась спектром сравнения Th-Ne-Ar, точность

Таблица 1

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА R CRB

юлианская дата, блеск волны линии, инструментально MID=ID-2450000 звезды, зв. вед. им профиля на поло	ото	
MID=JD-2450000 звезды, зв. вед. ИМ Профиля на полов		
in the second product of the second s	профиля на половине	
максимальной		
Интенсивности ли	нии,	
НМ		
1032.3 6.0 589.3 0.024		
1033.3 6.0 589.3, 849.8, 854.2 0.015		
1038.3 6.0 589.3, 849.8, 854.2 0.015		
866.2		
1039.4 6.0 854.2 0.015		
1059.2 7.8 854.2 0.024		
1061.2 8.1 854.2 0.024		
1063.2 8.2 854.2 0.028		
1067.2 8.2 849.8, 854.2 0.046, 0.024		
1069.2 8.3 589.3, 854.2 0.046, 0.028		
1082.2 8.3 589.3, 854.2 0.024, 0.031		
1087.2 8.3 589.3 0.024		
1096.2 8.3 589.3 0.024		
1097.2 8.3 854.2 0.020		
1098.2 8.3 589.3 0.017		
1105.2 8.4 589.3 0.015		
1106.2 8.4 854.2 0.024		
1107.2 8.4 589.3 0.017		
1205.6 9.6 589.3 0.024		
1669.9 6.5 589.3 0.017		
1804.3 6.3 589.3 0.017		
1809.2 6.3 854.2 0.024		
2332.4 6.0 589.3, 854.2 0.017, 0.024		
2379.3 6.0 589.3, 854.2 0.024, 0.017		
2495.3 6.1 589.3, 656.3, 854.2 0.017		
2568.2 6.0 589.3 0.017		
2689.4 8.1 589.3, 854.2 0.020, 0.038		
2690.4 8.2 656.3 0.028		
2737.5 7.9 589.3 0.020		
2853.4 6.0 589.3 0.020		
2854.3 6.0 589.3, 854.2 0.017		
3405.6 6.0 589.3, 854.2 0.024		
3434.9 6.0 589.3 0.024		
3435.1 6.0 854.2 0.024		
3480.3 6.0 854.2 0.028		
3685.1 6.0 589.3 0.024		
3783.5 6.0 589.3 0.024		
3872.3 6.0 589.3 0.017		
3873 3 60 589.3, 854.2 0.024		
3958.3 6.0 589.3 0.017		

проведения дисперсионной кривой была не хуже 0.001 нм. Лучевая скорость звезды определялась по 5-7 линиям в области линий натрия со средней ошибкой не хуже ±1.0 км/с.

Все редукции спектров звезд (за плоское поле, космические частицы, орбитальную скорость Земли и т.п.) выполнены с помощью комплекса программ обработки спектров, используемого в КрАО и включающего программный пакет SPE (Specifical Processing Engine). Окончательные спектры звезд приведены к лабораторной шкале длин волн после учета лучевых скоростей, измеренных нами по фотосферным линиям углерода CI, железа Fe I и др.

Таблица 2

Модифици-	Визуаль-	Интервал вре	мени, суток	Эквивалент-	Полная ширина
рованная юлианская дата, MJD= JD-2450000	ный блеск звезды, зв. вел.	после выхода звезды из последнего минимума блеска	до начала следующего минимума блеска	ная ширина линий D Na I, нм DI D2	инструментального профиля на поло- вине максимальной интенсивности линии, нм
1445.5	11.2	-120	>350	0.79+0.38 0.63+0.40	0.028
2568.3	11.2	~250	~350	0.56 0.50	0.024
2853.4	10.9	≥ 550	~50	0.76 0.54	0.028
3873.4	10.9	~500	-	0.76 0.89	0.031

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА SV SGE

Примечание: для даты MJD 1445.5 приведены эквивалентные ширины звездных и околозвездных линий (доплеровское смещение -30 км/с).

Спектры SV Sge в области линий натрия были получены в спокойном состоянии звезды или около него (блеск $V \approx 10^{m}.8$) со спектральным разрешением $R = \lambda/\Delta\lambda$ не хуже 15000 и отношением сигнал/шум S/N = 20 ÷ 50. Спектры R CrB в максимуме блеска ($V \approx 6^{m}$) имеют более высокое качество: R = 40000, S/N = 100; эти параметры ухудшаются для звезды в ослабленном состоянии. В табл.1, 2 представлены некоторые данные о наблюдениях, ставших основой для настоящего исследования.

Для спектров R CrB в области линий натрия была выполнена дополнительная редукция, чтобы выделить движения вещества в атмосфере звезды, не вовлеченные или не в полной мере вовлеченные в пульсационные движения. Мы воспользовались присутствием узкой межзвездной линии D Na I. Для межзвездной линии авторы [13] приводят гелиоцентрическую скорость -20.5 (±0.7) км/с, что в сумме со средней радиальной

606

скоростью звезды +22.5 км/с дает скорость -43 км/с относительно фотосферы звезды. Наблюдаемый профиль линий дублета натрия представлялся суммой доплеровских профилей межзвездной и звездных линий. В результате было уточнено инструментальное положение межзвездной линии, и спектр звезды был смещен на нуль-пункт межзвездной линии. В этой системе скоростей приводимая авторами [12] скорость -30 км/с для компонента, появившегося в спектре R CrB 30 сентября 1995г. перед началом глубокого минимума блеска, трансформируется в -25 км/с относительно фотосферы (см. рис.8 в [12]). Это позволило в дальнейшем для всех изменений положения профиля спектральных линий натрия сделать уверенную привязку к неподвижной системе координат, к которой мы будем относить все параметры скорости. Для единообразия в изложении результатов исследования мы будем также придерживаться следующих обозначений компонентов линий D Na I, предложенных авторами [13]: А, В и С. А-компонент на скорости смещения +20 км/с относительно межзвездной линии или -23 км/с относительно фотосферы и не участвующий в пульсациях звезды. Компонент В также не участвует в пульсациях звезды и имеет скорость около +36 км/с относительно межзвездной линии или -7 км/с относительно фотосферы. С-компонент, имеющий скорость около +50 км/с относительно межзвездной линии или +7 км/с относительно фотосферы звезды и участвующий в пульсациях звезды. Положительное смещение этого



Рис.1. Кривая блеска SV Sge по данным баз данных AFOEV и VSOLJ. Вертикальные линии нанесены с интервалом 1040 суток.

компонента относительно положения фотосферной линии в исследовании [13] объясняют вкладом возможного околозвездного компонента.



Рис.2. Кривая блеска R CrB по данным баз данных AFOEV и VSOLJ.

3. Переменность блеска и вариации профиля линий. Многочисленные визуальные оценки блеска звезд в базах данных ассоциаций наблюдателей переменных звезд Франции (AFOEV) и Японии (VSOLJ) дают нам возможность связать изменения профилей спектральных линий с текущим состоянием звезды (рис.1, 2). Время завершения минимума блеска оценивалось по выходу блеска звезды на средний уровень последующего максимума блеска, который может отличаться от уровня блеска до данного минимума.

3.1. SV Стрелы. SV Sge - холодный гигант [14] (спектральный класс R2). Звезда обладает околозвездной пылевой оболочкой, но, к сожалению, данных о переменности блеска в ИК-диапазоне спектра практически нет, чтобы понять постоянно ли присутствует эта оболочка или нет и каковы временные параметры этой переменности. Слабость звезды ограничивает также возможности спектральных наблюдений: нами было получено лишь 4 спектра в области линий резонансного дублета натрия.

Спектральное разрешение наблюдательного материала позволяет видеть различия в профилях линий натрия в спектре этой звезды в разные даты (рис.3) и заподозрить усиление линий перед минимумом блеска (табл.2).

Профиль линии за первую дату, кроме сильного околозвездного компонента со смещением, соответствующим скорости истечения -230 км/с [15] (находится за пределами рис.3), имеет компонент со

ЗВЕЗДЫ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ

смешением около -30 км/с, в результате чего синее крыло линии становится более протяженным. Линия за вторую дату имеет только следы низкоскоростного околозвездного компонента. В дальнейшем видна только фотосферная линия, но асимметричность профиля линии в сторону более коротких длин волн сохраняется, указывая, таким образом, на существование дополнительных компонентов, что расценивается как признак звездного ветра в атмосфере звезды [16]. Возможно, что



Рис.3. Профили линий D1 и D2 резонансного дублета натрия у SV Sge в шкале скорости. Нижние сплошные линии - профили за дату MJD 1445, линии с точками - MJD 2568, штриховые линии - MJD 2853, верхние сплошные линии - MJD 3873.

вследствие этого ядро линий натрия показывает переменное отрицательное смещение до -12 км/с относительно остальных фотосферных линий, о чем было сказано в [15].

В связи с упомянутой выше периодичностью минимумов блеска DY Per мы рассмотрели вопрос наличия периодичности в следовании минимумов блеска у SV Sge и других подобных холодных звезд. Тем более, что в последнее время таких звезд много обнаруживается в Магеллановых Облаках, и поэтому их выделяют в отдельную группу звезд типа DY Per ввиду пониженной абсолютной светимости по сравнению с горячими звездами с переменностью типа RCB [17]. Нам представляется, что к этой группе, кроме SV Sge, можно отнести Z UMi. Все они могут быть отнесены к группе "слабых" звезд в нашем определении 1989г. [14].

Такого хорошо выраженного периода, как у DY Per, мы у SV Sge не обнаружили. Скорее всего, это периодичность в следовании минимумов блеска кратная 1040 суткам (рис.1). При этом, не в каждый такой момент (интервал) времени происходит минимум блеска, но в каждый третий момент (через 3120 суток) в трех случаях наблюдался

609

глубокий минимум блеска. Для моментов минимумов блеска у SV Sge мы использовали такую приближенную эфемериду:

 $[Min] = JD2450880 + 1040 \times E.$ (1)

Мы провели такое же небольшое исследование кривой блеска Z UMi и также обнаружили периодичность по типу DY Per: минимумы блеска следуют через промежутки времени около 700 суток. Недаром эту звезду до недавнего времени классифицировали как мириду [18]. То есть, у холодных звезд типа DY Per характерным свойством является периодичность в следовании минимумов блеска.

3.2. *R Северной Короны*. Результат, полученный по SV Sge, позволяет по-новому взглянуть на обнаруженную ранее большую ширину резонансных линий натрия в период времени, предшествующий минимуму блеска: для минимума 1995г. [12] и 1998г. [19]. В этих двух исследованиях этот факт остался без объяснения.

На рис.4 представлены профили почти всех линий натрия согласно табл.1. Во время минимумов блеска в дополнение к абсорбции появляется, в частности, узкая эмиссия, которая участвует в формировании профиля наблюдаемых линий. Хорошо видно, что перед минимумом 1998г. линии натрия были наиболее широкими, чем в остальные даты наблюдений (линии с точками, полная ширина линии на половине максимальной интенсивности соответствует диапазону



Длина волны, нм

Рис.4. Профили DI линии натрия у R CrB в шкале длин волн и приведенные к положению межзвездной линии, соответствующему гелиоцентрической скорости -20.5 км/с. Сплошные линии с точками - профиль за даты MJD 1032, 1033, 1038, остальные линии - за даты согласно табл.1. Вертикальная линия показывает положение линии натрия в лабораторной шкале длин волн.

скорости 57 км/с). Положение синего крыла линий натрия за все время наблюдений варьирует в больших пределах, чем положение красного крыла. Наибольшее смещение коротковолнового крыла наблюдалось перед началом минимума 1998г. и достигало -34 км/с для точки профиля на половине максимальной интенсивности линии. Это привело к тому, что наблюдаемая линия имеет отрицательное смещение -(6-8) км/с относительно других фотосферных линий (углерода, железа). Амплитуда перемещений красного крыла линии находится в пределах 5 км/с, что соответствует пульсациям звезды с амплитудой около 6 км/с [12]. Во все остальные даты наших наблюдений, относящихся к максимуму блеска, линия имела смещение, в основном, около +5 км/с, что является следствием отсутствия компонента А и преобладающего вклада компонента С в формирование наблюдавшегося профиля линии. В модифицированную юлианскую дату MJD 2332 ее положение соответствовало смещению -1 км/с, и при этом линия явно имела два равнозначных компонента В и С. Общей деталью всех профилей линии поглощения является их асимметричность, которая выражается в большей протяженности синего крыла. Положение коротковолнового крыла линий натрия во время минимума блеска 1998г. было стабильным, то есть, оно не участвовало в пульсациях звезды, и примечательно, что его профиль указывал на очень узкую, но интенсивную линию, смещенную относительно межзвездной линии примерно на 24 км/с или -19 км/с относительно фотосферы. Это дает основание отождествить эту линию со смещенным компонентом А. Положение узкой эмиссии для минимума блеска 1998г. было постоянным в течение всего периода наблюдений и совпадает с положением, зафиксированным в [12] для минимума 1995г.: -5 км/с с разбросом значений не превышающим 1 км/с. В 1999г. эмиссия наблюдалась на скорости смещения -2 км/с. В 2001г. на выходе из минимума при блеске звезды 11^m.1 смещение было около -(9÷10) км/с (после повторного анализа данных [20]); но позднее оно уменьшилось до -(3÷5) км/с. В 2003г. картина повторилась: первые наблюдения показали - -7.5 км/с, но во второй половине минимума смещение, по-видимому, уменьшилось до -3÷0 км/с [16]. То есть, положение узкой эмиссии меняется от минимума к минимуму и, по-видимому, характерной деталью ее поведения является уменьшение отрицательного смещения во время восстановления нормального состояния звезды. Напомним, что положение компонента А в 1994г. в течение длительного времени было стабильным относительно межзвездной линии [13].

В 2003г. (MJD 2689, 2737) в начальной и заключительной фазах минимума блеска (табл.1, рис.1, рис.5) были получены спектры, к

сожалению, не высокого качества. За 150 суток до начала минимума компонент А в профиле линий отсутствовал. Присутствие его на 12-е сутки падения блеска (начало которого мы отнесли к дате MJD 2677) мы не исключаем, так как синее крыло наблюдаемого профиля линий вкладом только межзвездной линии объяснить нельзя. Компонент С присутствовал как на 12-е сутки наших наблюдений, так и в следующую дату (MJD 2737).



Рис.5. Линии D Na I в спектре R CrB в шкале скорости во время минимума 2003г. (сплошная линия с точками - линии за дату MJD 2689, штриховая линия - MJD 2737) в сравнении с линиями натрия перед минимумом 1998г. (MJD 1033, сплошная линия). На спектре за MJD 2737 в области – 140 + 230 км/с видна околозвездная абсорбция.

Предстоящий минимум блеска R CrB проявлялся также в линиях ИК-триплета Са II. Перед минимумом блеска 1998г. линия λ 854.2 нм, одна из линий триплета, была более широкой в сравнении с остальными датами. 30 сентября 1995г., непосредственно перед минимумом блеска, линии ИК-триплета кальция показали подобную структуру [12]. Характерной чертой является также типичная асимметричность профиля линии кальция в ядре: большая глубина линии смещена в сторону больших длин волн перед началом минимума и в самые первые его сутки (рис.6). В ядре линии в максимуме блеска всегда присутствует эмиссия, которая во время минимума сохраняет свою абсолютную интенсивность и поэтому поднимается над уровнем континуума [19]. Положение узкой эмиссии в 1998г. свидетельствовало об отсутствии смещения или о незначительном отрицательном смещении. В начале минимума 2003г. смещение было -23 км/с, что достаточно необычно; во второй половине минимума оно уменьшилось до -6 км/с [16]. В максимуме блеска, вдали от минимума блеска, большая глубина линии всегда была смещена в коротковолновую сторону, что можно интерпретировать как следствие смещения узкой эмиссии в противоположную,

ЗВЕЗДЫ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ

то есть, длинноволновую сторону. Более определенно сказать о перемещении узкой эмиссии нельзя ввиду недостаточного спектрального разрешения нашего спектрального материала. В две даты, MJD 3405 и MJD 3480, то есть, по-видимому, в течение 75 суток эмиссия занимала



Рис.6. Линия ИК-триплета кальция на длине волны 854.2 нм. МЈD 1038 - сплошная линия, МЈD 1809 - сплошная линия с точками, МЈD 3873 - штриховая линия.

центральное положение. В линиях ИК-триплета кальция не обнаружено компонентов, подобных компонентам А, В и С в линиях натрия.

Имеющиеся данные не позволяют проследить появление и исчезновение компонента А в линиях дублета натрия во всех четырех случаях его фиксации. Можно лишь получить некоторое представление о продолжительности его существования. 1) Наблюдения R CrB в 1994г. относятся к нормальному блеску после завершения выхода звезды из минимума блеска. Компонент А имел скорость -23 км/с и наблюдался в течение не менее 128 суток. 2) Авторы [12] зафиксировали присутствие компонента А на скорости -25 км/с на 1-2 сутки после начала минимума блеска 1995г. Этот компонент отсутствовал за 54 сутки до начала этого минимума. Заключение о продолжительности существования компонента А из данных авторов вывести невозможно. 3) В 1998г. компонент А на скорости -25 км/с присутствовал уже за 7 суток до начала минимума. Через 30 суток после начала минимума блеска, когда были возобновлены соответствующие наблюдения, ширина линии была уменьшена, но оставалась значительной и одной из самых больших за все время наблюдений, то есть, компонент А не исчез, но уменьшил свое смещение до -19 км/с. 4) В 2003г. компонент

А, возможно, существовал на 12 сутки после начала минимума блеска.

Вопрос интенсивности компонента А рассмотреть качественно по нашему материалу нет возможности, поэтому будем исходить из факта его присутствия.

Начиная с 1994г. у R CrB произошло 5 минимумов блеска. Из них наблюдения с высоким спектральным разрешением были выполнены для 3. Во всех этих трех случаях в линиях резонансного дублета натрия был зафиксирован компонент А: бесспорно в 1995г. и 1998г. и с некоторой долей неуверенности в минимуме блеска 2003г. Наблюдения 1994г., когда компонент А имел скорость -23 км/с, относятся к периоду полного выхода звезды из минимума блеска, и поэтому будем считать. что компонент А не был следствием минимума блеска и не был с ним связан. Больше за 12 лет наблюдений, в том числе и наших 8 лет наблюдений, компонент А ни разу не наблюдался. Наши наблюдения проводились, к сожалению, со значительными пробелами: до 500 суток и отсутствуют соответствующие наблюдения для минимумов 1999-2000 и 2001гг. Выше мы отметили, что длительность существования компонента А была 128, 75 и, возможно, по крайней мере, 12 суток. Следовательно, могли быть пропуски, когда компонент существовал. но уже без связи с минимумом блеска.

4. Обсуждение. Описанную выше переменность в резонансных линиях натрия у SV Sge (возможное усиление линий вблизи минимума блеска) и R CrB (появление компонента A) мы предлагаем интерпретировать как один из признаков начала минимума блеска. Появление дополнительного компонента A, а также увеличение протяженности и интенсивности синего крыла резонансных линий натрия перед минимумом визуального блеска у исследованных нами звезд, позволяет нам сказать, что в звездном ветре этих звезд перед минимумом блеска возникает достаточно плотный слой, в котором происходит конденсация пыли. Субординатные линии Ca II также приобретают характерное уширение и асимметрию перед минимумом.

В связи с тем, что эти звезды принадлежат разным группам, объединенным общим типом переменности [14], то представляется возможным дать определение признака начала минимума блеска для каждой звезды/ группы. Для SV Sge, и возможно, холодных звезд типа DY Per, признак начала минимума выражается в усилении наблюдаемых линий резонансного дублета натрия, в том числе, за счет появления дополнительных коротковолновых компонентов. Для пульсирующих звезд типа самой R CrB одним из признаков приближающегося начала минимума визуального блеска будет появление в линиях резонансного дублета натрия дополнительного компонента A с отрицательным доплеровским смещением около -25 км/с. При такой формулировке необходимо предложить объяснение того, что у R CrB эпизод 1994г. со скоростью компонента A -23 км/с не сопровождался минимумом блеска.

В ходе рассуждений мы будем исходить из предлагаемой нами модели сферической однородной пылевой оболочки, которая отличается от отклоненной в 1972г. авторами [21] модели, введением еще одной пылевой оболочки. Образование этой экранирующей оболочки на расстоянии 4-10 радиусов звезды является причиной ослабления и экранирования фотосферного излучения звезды – минимума визуального блеска [22-24]. Постоянно наблюдаемый избыток инфракрасного излучения исходит от перманентной пылевой оболочки, которая образуется в потоке потери массы на расстоянии около 26 радиусов звезды и не связана с минимумами блеска.

Одно из возможных (и самое простое) объяснений эпизода 1994г. заключается в том, что скорость -23 км/с не превышает скорость убегания для R CrB на расстоянии от звезды. где возможна конденсация пыли, и вещество не может покинуть пределы звезды. Такая скорость убегания достигается на расстоянии 4-5 радиусов звезды R, (R = 90-100 радиусов Солнца [22], масса звезды около 0.7 массы Солнца [25,26]). Эта величина расстояния близка к нашей оценке радиуса экранирующего пылевого слоя: 6 R. [22]. Это расстояние является достаточным для создания условий для конденсации пыли в атмосфере пульсирующей звезды с параметрами R CrB [5]. Если плотность вещества достаточно высока, то происходит конденсация пыли, которая приводит к образованию вышеупомянутой экранирующей пылевой оболочки. Образующиеся на этом расстоянии пылинки уже могут покинуть пределы звезды. Лучистое давление ускоряет пылинки до 200-300 км/с, а дрейф пылинок через газовую среду приводит к ускорению атомов газа, в том числе атомов натрия, до таких же скоростей.

Другое возможное объяснение эпизода 1994г. основывается на анализе взаимосвязи процессов, происходящих в атмосфере и окрестностях звезды во время и вне минимумов блеска. Это аналогично подходу, использованному нами в исследовании [27]: визуальный блеск определяется фотосферой звезды; пульсации фотосферы через амплитуду колебаний радиальной скорости и радиуса фотосферы регулируют темп потери массы; в потоке потери массы на расстоянии около 26 *R*, происходит конденсация пылевой перманентной оболочки, которая проявляет себя в виде переменного, но постоянно присутствующего избытка ИКизлучения. Поэтому изменение параметров пульсаций блеска, а значит и темпа потери массы только через какое-то время проявится в изменении параметров перманентной оболочки.

Процесс образования экранирующей оболочки на расстоянии 4-10 радиусов звезды также связано с пульсациями звезды. Сначала для RY Sgr [3], а затем с разной степенью надежности для R CrB [28], V854 Cen [29] и FG Sge [30] и других звезд [4] было найдено, что минимум блеска начинается после максимума блеска в пульсации на интервале фаз 0.2-0.4. Для RY Sgr и FG Sge дополнительно установили, что окончание минимума также связано с пульсациями: блеск начинает восстанавливаться, т.е. пылевой слой начинает разрушаться после минимума блеска в пульсации [30,31]. Детали регулирующего механизма пока неясны; установлен сам существования такой связи.

Возникновению компонента А могут способствовать пульсации звезды. Согласно исследованию пульсаций [32, 33], более удаленные атмосферные слои пульсируют с бо́льшими периодами и амплитудами. Амплитуда пульсаций скорости слоя с радиусом 2-3 радиуса звезды увеличивается, по крайней мере, в два раза. В подобных слоях как раз и может образовываться компонент А.

Избыток ИК-излучения, а значит и темп потери массы, показывает 4342-суточную периодичность [34]. Минимумы блеска являются следствием потери массы, а в следовании минимумов блеска также обнаружена 4400-суточная цикличность [6,7].

В 1994г. звезда находилась в завершении цикла активности, который характеризуется отсутствием минимумов блеска [6,7]. Согласно данным [34], ИК-избыток в это время уменьшался, т.е. поток вещества на уровне конденсации перманентной оболочки падал. Но на уровне образования экранирующей оболочки это уменьшение темпа потери массы началось значительно раньше, и в 1994г. он мог достичь минимальных значений. которые недостаточны для образования пылевого слоя на соответствующих расстояниях. Время задержки можно оценить из простых рассуждений. Радиус перманентной оболочки, которая ответственна за ИК-избыток, около 26 R. Радиус экранирующей оболочки - 4-10 R. [22]. Отождествляя скорость компонента А со скоростью истечения вещества между этими двумя оболочками, оцениваем искомое время равным 500-700 суток или 1.5-2 года. Из данных [34] следует, что значительное падение ИК-избытка до одного из самых низких из зарегистрированных уровней произошло в 1999г., т.е. через 5 лет. Отличие нашей оценки в 3-4 раза может быть обусловлено меньшей скоростью истечения вещества вне минимумов блеска, например, 8 км/с. Последняя величина близка к скорости смещения компонента В (-7 км/с) в профиле линий натрия. Поэтому не исключено, что компонент В характеризует истечение вещества вне минимумов блеска.

Такая интерпретация присутствия компонента А в 1994г. находится в русле с длительным присутствием узкого компонента А на скорости смещения -19 км/с в период минимального блеска в минимуме 1998г. Избыток ИК-излучения в 2001г. имел высокий уровень, т.е., темп потери массы на уровне экранирующего слоя в 1998г. был достаточным для длительного поддержания процесса конденсации пыли на расстоянии 4-10 радиусов звезды.

Пока нет данных о времени требуемом для появления компонента А, но некоторую оценку этого времени можно сделать. Так, согласно [16], во время минимума R CrB в 2003г. узкие эмиссии C I за 5 суток сместились на +24 км/с в длинноволновую сторону. В этот же минимум за 20 суток произошло столь же значительное изменение смещения узких эмиссий дублета натрия и ИК-триплета кальция, с -7.5 км/с и -23 км/с в первой половине минимума на -3+0 км/с и -6 км/с во второй половине минимума, соответственно. С другой стороны, компонент А появляется в результате пульсаций, период которых около 40 суток. То есть, речь может идти о времени порядка 5-20 суток.

5. Заключение. Предлагаемая нами интерпретация присутствия компонента А в линиях резонансного дублета натрия, как индикатора предстоящего минимума визуального блеска, ввиду небольшой статистики его наблюдений - 4 регистрации и 3 из них в связи с минимумами блеска - требует дальнейших наблюдений. Так же, как и поведение этих линий у SV Sge и других холодных звезд с данным типом переменности.

Сам признак предстоящего минимума блеска, в частности, для R CrB можно описать следующим образом. Если в первой половине 4400суточного цикла активности во время пульсации звезды на фазе 0.2-0.4 и ранее в профиле линий резонансного дублета натрия появился компонент A, то в верхних слоях атмосферы звезды на расстоянии 4-5 радиусов звезды в потоке потери массы образовался слой вещества со скоростью около -25 км/с и следует ожидать начала конденсации пылевой оболочки, максимальная плотность которой достигается при радиусе около 6 радиусов звезды. У холодных звезд типа DY Per признак подготовки звезды к минимуму блеска представляется как усиление линий резонансного дублета натрия, имеющее периодический характер.

Близость значений смещений узкой эмиссии и компонента В в линиях дублета натрия может означать, что эти две спектральные детали возникают в одной области верхней атмосферы звезды и механизмом возникновения эмиссии является резонансная флюоресценция [35].

Актуально спланировать мониторинговые наблюдения линий резонансного дублета натрия и других широких резонансных и субординатных линий в спектре R CrB, начиная со второй половины 2007г. - начала 2008г., когда начинается очередной период активности этой удобной для наблюдений звезды. Не менее одного наблюдения в неделю со спектральным разрешением не менее 40000 было бы достаточно для получения информации о временных параметрах присутствия компонента А. Другие звезды доступные наблюдениям с высоким спектральным разрешением: RY Sgr и V854 Сеп. Наблюдения первой могут дать наиболее ценную информацию о движении вещества в атмосфере звезды, так как пульсации происходят с большой амплитудой. В отличие от R CrB, узкие эмиссии в спектре этой звезды, наблюдаемые в минимуме блеска, участвуют в пульсационных движениях звезды. В процессе наблюдений следует обратить внимание на отмеченное выше уменьшение отрицательного смещения узких эмиссий в линиях дублета натрия и триплета кальция и других линиях, что может означать как уменьшение скорости истечения вещества, так и смещение зоны образования этих линий в более внутренние слои атмосферы звезды.

При описании структуры профиля линий натрия мы обошли молчанием тот факт, что иногда линия натрия представлена фактически только компонентом С, который имеет положительное смещение относительно фотосферных линий. То есть, в профиле линий натрия отсутствовал или был очень ослаблен фотосферный компонент. Пока мы не можем что-либо предложить для объяснения этого факта.

В случае холодных звезд типа DY Per образование дополнительного слоя, по-видимому, необязательно, так как температура атмосферы достаточно низкая для конденсации пыли, необходимо лишь повысить плотность вещества, которая также связана с пульсациями звезды с периодом 700-1000 суток. Актуальны в этой связи ИК-наблюдения, которые дадут информацию об околозвездной среде.

В получении кривых блеска упомянутых в работе звезд были с благодарностью использованы базы данных ассоциаций наблюдателей переменных звезд Франции (AFOEV) и Японии (VSOLJ). Некоторые данные найдены с помощью базы данных SIMBAD (CDS, Страсбург, Франция). Автор признателен сотрудникам НИИ КрАО за содействие в проведении наблюдений, С.Сергееву и С.Ростопчину дополнительно за предоставление программных пакетов обработки спектров, В.Маланушенко за гостеприимство во время пребывания в обсерватории. Особая благодарность Т.Кипперу за любезно предоставленный спектр R CrB в области линий натрия в минимуме 2001г.

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, e-mail: aeros@mao.kiev.ua

ЗВЕЗДЫ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ

AN INDICATOR OF COMING VISUAL LIGHT MINIMUM IN A STAR WITH R CORONAE BOREALIS TYPE VARIABILITY

A.E.ROSENBUSH

One is discussed assumption that an emergence in the Na I D lines the component blue shifted on 25 km/s offers an indicator to the beginning in the immediate future the visual light minimum in a star with the R Coronae Borealis type variability. From 1994 this component have three observations in the connection with a light minimum, two ones in a day or days before the beginning of light decline (1995, 1998) and possible one in first days of a minimum (2003). Similar variation is noted in one of the infrared triplet lines Ca II λ 854.2 nm.

Key words: stars: R Coronae Borealis type: Na I D lines

ЛИТЕРАТУРА

- 1. А.Э.Розенбуш, Астрофизика, 39, 145, 1996.
- 2. G.C. Clayton, Publ. Astron. Soc. Pacif., 108, 225, 1996.
- 3. A.F.Pugach, Inf. Bull. Var. Stars, N1277, 1, 1977.
- L.A.Crause, W.A.Lawson, A.A.Henden, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 375, 3016 2007.
- 5. P. Woitke, A. Goeres, E. Sedlmayr, Astron. Astrophys, 313, 217,1996
- 6. А.Э.Розенбуш, Кинематика и физика небесн. тел, 13, 82, 1997.
- 7. A.E.Rosenbush, Inf. Bull. Var. Stars, No5025, 1, 2001.
- 8. A.Alksnis, Inf. Bull. Var. Stars, No5561, 1, 2004.
- 9. А.Э.Розенбуш, Астрономический циркуляр, No1343, 6, 1984.
- 10. T.Lloyd Evans, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 219, 191,1986.
- 11. Э.А.Барановский, А.Э.Розенбуш, Кинематика и физика небесн. тел., 14, 35, 1998.
- 12. N.K.Rao, D.L.Lambert, M.T.Adams et al., Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 310, 717, 1999.
- 13. N.K.Rao, D.L.Lambert, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 284, 489, 1997.
- 14. А.Э. Розенбуш, Кинематика и физика небесных тел, 5, No 1, 84, 1989.
- 15. А.Э. Розенбуш, Астрофизика, 43, 587, 2000.
- 16. N.K.Rao, D.L.Lambert, M.D.Shertone, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 370, 941, 2006.
- 17. C.Alcock, R.A.Allsman, D.R.Alves et al., Astrophys. J., 554, 298, 2001.

619

- 18. P.J.Benson, G.C.Clayton, P.Garnavich, P.Szkody, Astron. J., 108, 247, 1994.
- 19. А.Э. Розенбуш, Астрофизика, 44, 97, 2001.
- 20. T. Kipper, Inf. Bull. Var. Stars, No5063, 1, 2001.
- 21. W.J.Forrest, F.C.Gillett, W.A.Stein, Astrophys. J., 178, L129, 1972.
- 22. A.E. Rosenbush, Astron. Nachrichten, 316, 281, 1995.
- 23. А.Э. Розенбуш, Астрофизика, 43, 587, 2000.
- 24. A.E. Rosenbush, Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Suppl. Ser., No3, 399, 2001.
- 25. A. Weiss, Astron. Astrophys., 185, 165, 1987.
- 26. H.Saio, Astron. Soc. Pacif. Conf. Ser., 96, 361, 1996.
- 27. А.Э.Розенбуш, Кинематика и физика небесн. тел, 14, 342, 1998.
- 28. J.D.Fernie, W.A.Lawson, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 265, 899, 1993.
- 29. W.A.Lawson, Astron. Soc. Pacif. Conf. Ser., 30, 357, 1992.
- 30. В.П.Архипова, Письма в Астрон. ж., 22, 828, 1996.
- 31. M.W.Feast, Astron. Soc. Pacif. Conf. Ser., 96, 3, 1996.
- 32. Yu.A. Fadeyev, Astrophys. Space Sci., 86, 143, 1982.
- 33. Yu.A.Fadeyev, Astrophys. Space Sci., 100, 329, 1984.
- 34. B.F. Yudin, J.D. Fernie, N.R. Ikhsanov et al., Astron. Astrophys., 394, 617, 2002.
- 35. Э.А.Барановский, А.Э.Розенбуш, (Неопубликовано, 2007).