АСТРОФИЗИКА

ТОМ 27 ОКТЯБРЬ, 1987 ВЫПУСК 2

УДК: 524.338.3

О МОДЕЛИ СИМБИОТИЧЕСКОЙ ЗВЕЗДЫ AG Dra

Х. МИКАИЛОВ, Л. ЛУУД

Поступила 25 мая 1987

По спектрограммам, полученным в Шемахинской астрофизической обсерватории АН Азерб.ССР, показано, что AG Dra является двойной звездой, имеющей спектральные линии обоих компонентов. Определены следующие параметры системы: K_1=7.5 км/с, K_2=21 км/с, γ=—148 км/с. Учитывая орбитальный период Мейнунгера в 554 дня, получаем M_1:M_2 = 2.8, $M_1 \sin^3 i = 0.98\ M_\odot$, $M_2 \sin^3 i = 0.35\ M_\odot$ и $a \sin i = 312\ R_\odot$. Изучена модель с белым карликом, аккрецирующим звездный ветер через аккреционный диск. Найдено, что самая вероятная модель — gK-звезда, теряющая массу $5 \cdot 10^{-8}\ M_\odot$/год с белым карликом, имеющим массу около 1 $M_\odot$. Наклон орбиты $i \approx 45°$. Ультрафиолетовое излучение излучается диском, а рентгеновское — поверхностью белого карлика через полярные области диска.

1. *Введение.* Исследованию симбиотической звезды AG Дракона посвящено большое количество разных статей. Особенно интересной делают ее следующие аспекты: эта симбиотическая звезда наиболее хорошо исследована как рентгеновский источник, имеются IUE-наблюдения, она является фотометрической переменной звездой с довольно хорошо определенным периодом. Совокупность этих данных, а также спектральные исследования, проведенные в Шемахинской обсерватории, позволяют нам попытаться создать феноменологическую модель, которая более или менее полно объясняла бы наблюдаемые особенности.

AG Dra (BD + 67°922, IRAS 16013 + 6656) является объектом на высокой галактической широте ($b_{II} = 41°$). Ее γ-скорость около —150 км/с указывает, видимо, на то, что это объект сферической составляющей. Описания оптического спектра, проведенные разными авторами, показывают, что присутствуют одновременно эмиссионные линии низкого и высокого возбуждения. Различаются классификации холодного компонента: от G^7 до $K0I^b$.

Имеются разные точки зрения относительно природы объекта. Ипатов и Юдин [1], исходя из фотометрических и спектрофотометрических наблюдений, разрабатывают модель Роша, однако есть и работы, оправ-

щиеся в основном на IUE-наблюдения, в которых утверждается, что в случае AG Dra мы имеем дело с аккрецией ветра холодной звезды [2]. В данной статье мы не ставили своей целью окончательно решить этот вопрос, а предлагаем лишь модель, которую мы считаем наиболее адекватной для описания AG Dra, при этом мы опираемся на кривые лучевых скоростей, определенные Гарсия [3] и нами.

2. *Наблюдения.* Наблюдения проведены в течение 1983—87 гг. на 2-метровом рефлекторе Шемахинской астрофизической обсерватории АН Азерб.ССР. Список использованных спектрограмм приведен в табл. 1. Там

Таблица 1

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ

Дата	φ	D (А/мм)	V_r (км/с)					
			He II		Hβ		H_7	
15/16.08.83	0.02	94	−131	−147	—		−138	
15/16.08.83	0.02	94	−152		—		—	
18/19.04.85	0.13	75	−124		—		—	
29/30.06.85	0.26	75	−138		−143		−144	
7/ 8.02.87	0.32	75	−123		−132		—	
18/19.02.87	0.34	75	−125		—		—	
18/19.05.84	0.52	75	−143	−138	—		—	
14/15.05.84	0.52	30	−133		−124		−132	
23/24.01.86	0.62		−158		−180		−157	
25/26.01.86	0.64	75	−166	−164	−157	−155	−162	−170
27/28.01.86	0.64	75	−160		−153		−178	
28/29.01.86	0.64	30	−164		−154		−169	
25/26.02.86	0.70	30	−173		−160		−175	
30/31.03.86	0.75	75	−162		−151		−154	
25/26.03.83	0.77	86	−165		−182		−170	
29/30.04.83	0.83	86	−165				−159	
11/12.05.83	0.85	86	−156		—		−153	
22/23.05.83	0.87	86	−163		—		176	
12/13.07.86	0.94	75	−153		−149		−146	
15/16.07.86	0.95	75	−150		−148		−143	
24/25.01.85	0.98	75	−166	−167	−139	−150	−152	−158
26/27.01.85	0.98	75	−168		−161		−164	

же приведены лучевые скорости, исправленные за движение Земли. Из-за слабости звезды удалось измерить лучевые скорости лишь по линиям He I λ 4686, H_β и H_7. Измерения выполнялись компаратором Аббе типа

ИЗА-2. Средняя ошибка измерений спектрограмм с дисперсией 30 А/мм равна ± 6 км/с, а остальных — ±15 км/с.

В период наблюдений AG Dra находилась в активном состоянии, которое характеризовалось усилением горячего континуума и появлением иррегулярных вспышек даже в фильтре *V*. На рис. 1 приводится визуальная кривая блеска, построенная по данным [4—14]. В интервале J. D. (2445500—2446000), по данным [15], заметных изменений не было. Однако, за исключением одной спектрограммы, наши наблюдения были проведены в моменты, когда визуальная величина AG Dra была нормальной, что дает основание полагать, что лучевые скорости AG Dra не сильно искажены активными процессами.

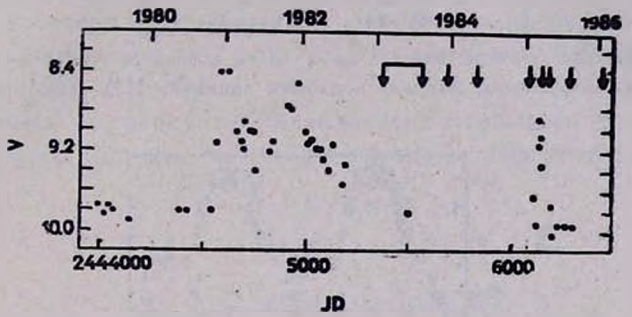

Рис. 1. Кривая блеска AG Dra в период 1979—1986 гг. в фильтре *V*. Стрелками обозначены моменты наблюдения лучевых скоростей (между двумя соединенными стрелками много спектрограмм.

На рис. 2 приведены, в относительных интенсивностях, контуры линий He II λ 4686 и области около [O III] λ 4363. Видно, что в 1983 г. ($\varphi = 0.69$) и в 1986 г. ($\varphi = 0.64$) линии He II были широкие и имели «подложку», а в 1985 г. ($\varphi = 0.98$) они были узкие и без «подложки». Отметим, что такая же подложка была наблюдена в апреле 1981 г. ($\varphi = 0.50$) у линии He II λ 1640 [16]. Крылья этих подложек указывают на очень большие скорости — 1000 км/с, однако скорее всего они возникают в результате рассеяния квантов вследствие столкновений со свободными электронами. В таком случае естественно предполагать, что они возникают около горячей звезды. Объяснения требует исчезновение подложки и синфазность с появлением [O III] λ 4363.

2. *Кривые лучевых скоростей.* Кривая лучевых скоростей К-звезды приближенно определяется наблюдениями Гарсия [3], из которых, несмотря на их очень малое количество, хорошо выявляется синусоидальное изменение с периодом изменения ультрафиолетового блеска по данным Оливерсена и Андерсон [17] (рис. 3а).

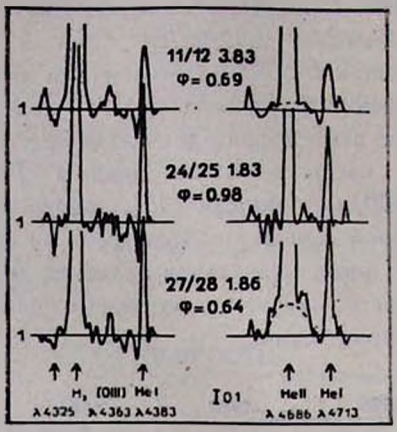

Рис. 2. Избранные контуры спектральных линий в спектре AG Dra в зависимости от фазы. Пунктиром отмечены широкие подложки линии He II λ 4686 при фазах 0.64 и 0.69.

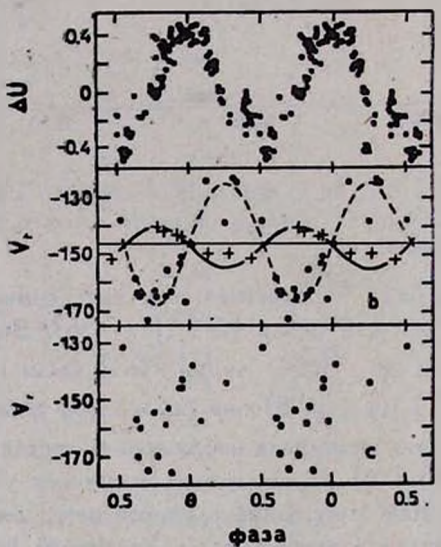

Рис. 3. Периодичность некоторых величин AG Dra: a) кривая блеска в спокойном состоянии звезды согласно [17], b) кривые лучевых скоростей: пунктир — по He II λ 4686, непрерывная линия — по линиям металлов согласно Гарсия [3], c) кривая лучевых скоростей по эмиссиям H_γ.

Полученные в Шемахинской обсерватории данные о лучевых скоростях позволяют построить и кривую лучевых скоростей по линии He II λ 4686. Обе эти кривые показаны на рис. 3 b. Наблюдения лучевых скоростей линии He II λ 1640 [5] по времени довольно близки к наблюдениям, проведенным в Шемахинской обсерватории, и тоже довольно хоро-

шо удовлетворяют оптической кривой лучевых скоростей. Согласие с более ранними наблюдениями Роман [18] и Хуанга [19] хуже. Видимо, кроме орбитального движения имеются и другие долговременные процессы, искажающие иногда общую форму кривой лучевых скоростей по линиям He II. К этой проблеме мы вернемся при обсуждении модели.

На рис. 3c показаны лучевые скорости по линиям H_γ. Хотя и наблюдается слабовыраженная периодичность, видимо, область, излучающая водородные линии, имеет сложную структуру и/или отражает более активные процессы в объекте, чем возникающая вблизи белого карлика линия He II λ 4686.

На рис. 3b для приблизительной оценки параметров AG Dra как двойной звезды мы аппроксимируем кривые лучевых скоростей синусоидами, т. е. совершаем приближение круговых орбит. Получаем, что полуамплитуды $K_1 = 7.5$ км/с и $K_2 = 21$ км/с, а $\gamma = -148$ км/с. Согласно Мейнунгеру [20], $P = 554^d$.

Теперь по формулам, связывающим указанные величины с другими параметрами системы, получаем следующую информацию о AG Dra:

$$M_1 : M_2 = 2.8,$$
$$M_1 \sin^3 i = 0.98\ M_\odot,$$
$$M_2 \sin^3 i = 0.35\ M_\odot,$$
$$a_1 \sin i = 82\ R_\odot,$$
$$a_2 \sin i = 230\ R_\odot,$$
$$a \sin i = 312\ R_\odot.$$

Для контроля определяем по этим данным функцию масс: $f_1(M) = 0.024\ M_\odot$, которая точно совпадает с величиной, оцененной Гароия [3] из кривой холодной звезды.

Далее определяем массы и размеры системы в зависимости от угла i (табл. 2). Отметим, что угол i не может быть малым, иначе имело бы место затмение горячего источника и, учитывая его малые размеры [5], линия He II λ 4686 не наблюдалась бы при фазах ~ 0.5.

4. *Возможна ли в системе AG Dra аккреция звездного ветра?* Аккреция звездного ветра на белый карлик рассматривалась в работе Ливио и Варнера [21]. В дальнейшем использованные Ливио и Варнером формулы применялись для интерпретации O Ceti [22], RS Oph [23] и CH Cyg [24]. Лууд и Ягомяги [25] рассмотрели процесс аккреции в симбиотических звездах в более общем плане.

В данном пункте мы рассмотрим случай AG Dra, имея в виду орбитальные параметры в их зависимости от угла i между плоскостью орбиты

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ AG Dra В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАКЛОНА i

	Параметр \ i	90°	60°	50°	40°	39°
Общие	$M_1/M_\odot$	0.98	1.51	2.18	2.77	3.92
	$M_2/M_\odot$	0.35	0.54	0.78	0.99	1.40
	$a/R_\odot$	312	360	407	441	495
	$V_{орб}$	21	24.2	27.4	29.7	33.4
	$R_{б.к}/R_\odot$	0.018	0.014	0.010	0.0073	0.0037
$\dot{M}=10^{-8}\ M_\odot$/год	$R_{акк}/R_\odot$	159	210	258	296	356
$V_{ветер}=20$ км/с	$\dot{m}_{акк}\ [M_\odot$/год]	$9.3\cdot10^{-10}$	$1.2\cdot10^{-9}$	$1.8\cdot10^{-9}$	$2.0\cdot10^{-9}$	$2.4\cdot10^{-9}$
	q	0.09	0.12	0.18	0.20	0.25
	$\lg L/L_\odot$	−0.25	0.18	0.64	0.93	1.46
	$R_{диск}/R_\odot$	20	35	66	83	121
$\dot{M}=5\cdot10^{-8}M_\odot$/год	$R_{акк}/R_\odot$	65	94	127	153	197
$V_{ветер}=40$ км/с	$\dot{m}_{акк}\ [M_\odot$/год]	$6.2\cdot10^{-10}$	$9.4\cdot10^{-10}$	$1.5\cdot10^{-9}$	$1.8\cdot10^{-9}$	$2.5\cdot10^{-9}$
	q	0.012	0.019	0.031	0.037	0.050
	$\lg L/L_\odot$	−0.42	0.06	0.58	1.35	2.48
	$R_{диск}/R_\odot$	0.58	1.45	3.9	5.9	11.2

и картинной плоскостью. Формулы мы заново приводить не будем, они содержатся в работах [21, 25].

В табл. 2 приведены необходимые для обсуждения результаты расчетов. Радиус белого карлика рассчитан по формуле $R = -0.024 \lg M + 0.0072$ [25]. Мы рассматриваем два случая: 1) $\dot{M} = 10^{-8}$ $M_\odot$/год найдена по общеизвестной формуле Раймерса в работе Лууда и Леэдъярва [26], а скорость ветра принята равной 20 км/с; 2) $\dot{M} = 5 \cdot 10^{-8}$ $M_\odot$/год и скорость ветра 40 км/с. Приведенные параметры хорошо соответствуют реально измеренным величинам. Этот вопрос детально обсуждается в работе Лууда и Ягомяги [25]. Результаты расчетов даны в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что во всех случаях $R_{вкк} < a$, что является условием применения формулы Ливио—Варнера. Всегда $R_{диск} < a$, следовательно, вокруг горячего компонента AG Dra имеется питаемый звездным ветром аккреционный диск. Светимость диска и доля аккрецирующего вещества растут с уменьшением наклона между орбитой и картинной плоскостью. Большие светимости, наблюдаемые в случае горячего компонента AG Dra, позволяют, вероятно, считать $i \approx 45°$. К уточнению выбора i мы еще вернемся. Отметим, что во всех случаях полость Роша не заполняется, если $R_{gK} = 38\ R_\odot$ [26].

5. *Распределение энергии.* Для исследования энергетического баланса в системе необходимо иметь хотя бы квазиодновременные всеволновые ряды наблюдений. Однако их мы никогда не имеем, поэтому при анализе распределения энергии всегда приходится учитывать всевозможные необнаруженные изменения блеска. При анализе распределения энергии мы считаем, что в системе AG Dra происходит дисковая аккреция звездного ветра холодного гиганта, т. е. задаем модель системы.

При исследовании распределения энергии мы опирались на распределение в красной и ближней инфракрасной областях спектра, где спектр красного гиганта фактически не искажен. В области $\lambda \geqslant 1$ мкм переменности звезды не наблюдается [1]. Поэтому на рис. 4 изображен спектр красного компонента на основе ИК-фотометрии по Гезари и др. [27] и по данным IRAS. Радиоизлучения, по данным Сиквист и др. [28], не обнаружено. Поскольку, начиная с $\lambda \gtrsim 20$ мкм, наблюдаются лишь верхние пределы, то мы считаем, что AG Dra не имеет ИК-эксцесса, и в длинноволновой области распределение энергии достаточно хорошо представляется распределением энергии K5 III гиганта [29].

Распределение в видимой и ультрафиолетовой областях спектра переменное. На рис. 4 представлено распределение энергии во время спокойствия объекта согласно кривой блеска V. Отметим, что по источнику данных IUE [16] изменения потока не связаны с периодическим движением, а

характеризуют состояние активности горячего источника. На рис. 4 ультрафиолетовое излучение аппроксимируется чернотельным излучением $T = 29\,000$ K.

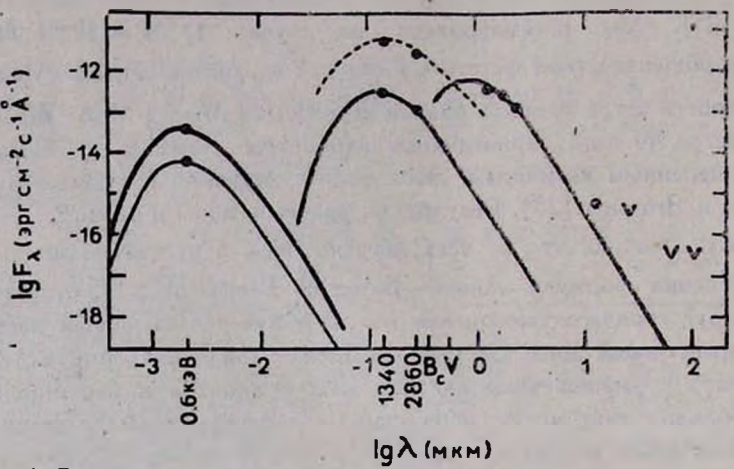

Рис. 4. Схематическое распределение энергии в спектре AG Dra. Жирные линии — аппроксимирующие три составляющие распределения чернотельного излучения, тонкая линия — рентгеновское излучение в его минимуме, пунктир — ультрафиолетовое излучение во время его максимальной интенсивности. Точки — измеренные потоки, галочки — верхние их пределы.

11 апреля 1980 г., тоже в период оптической неактивности, наблюдалось рентгеновское излучение AG Dra [30], которое характеризовалось эффективной температурой около $1.7\cdot10^6$ K и светимостью $L_x \approx 5\cdot10^{32}$ эрг/с. Это распределение также представлено на рис. 4.

Грубое приближение ультрафиолетового и рентгеновского излучений привело бы к распределению заметно более широкому, чем распределение чернотельного излучения, и светимость горячего источника намного превышала бы светимость красного гиганта. Поэтому нам кажется, что составной спектр аппроксимируется чернотельным излучением в трех областях спектра: рентгеновской, $T \approx 1.7\cdot10^6$ K и $L_x \approx 5\cdot10^{32}$ эрг/с, ультрафиолетовой, $T \approx 29\,000$ K и $L_{уф} \approx 8.5\cdot10^{34}$ эрг/с, и красной-инфракрасной, $T \approx 4200$ K и $L_{gK} \approx 1.5\cdot10^{36}$ эрг/с.

Следовательно, при моделировании системы мы должны определить три источника излучения. Это, конечно, не просто чернотельные источники. Положение самое сложное в случае ультрафиолетового источника, который, несомненно, имеет сложную структуру, ведь помимо континуума наблюдается и излучение разреженного газа.

Лутц и др. [31] указали на присутствие областей, излучающих ультрафиолетовое излучение, которые имеют $n_e = 10^6$—10^9 см$^{-3}$. Наблюдаемый

сильный континуум и отрицательный бальмеровский скачок [32] тоже свидетельствуют о сложной структуре ультрафиолетового источника.

6. *Феноменологическая модель AG Dra.* Приступим к построению феноменологической модели AG Dra, с помощью которой можно было бы описать основные свойства системы. Мы имеем несколько возможностей в зависимости от принятого угла наклона орбиты. В предыдущем разделе мы оценили светимость горячего источника $L = 8.5 \cdot 10^{34}$ эрг/с, откуда получаем $\lg L/L_{\odot} = 1.35$, т. е. нужно выбрать модель с $i \approx 45°$, иначе аккреция не обеспечивает светимости горячего источника. В таком случае в системе не наблюдается затмения и нужно объяснить кривую блеска в фильтре без привлечения затмения. Такая попытка была предпринята в работе Оливерсена и Андерсон [17], где рассматривается возможность получения U-кривой в предположении наличия горячего пятна. Плавец [33] указал на обстоятельство, что кривую блеска в фильтре U (из-за наличия бальмеровского скачка в полосе пропускания) трудно интерпретировать, поскольку не всегда понятно, в какой степени это отражает процессы, связанные с околозвездным газом или с поверхностью звезды. В дальнейшем мы будем считать, что обращенная к горячему источнику сторона К-звезды излучает больше ультрафиолетового излучения, частично из-за нагрева поверхности, но в основном из-за ионизации околозвездного газа, который дает сильное ультрафиолетовое излучение за бальмеровским скачком. При этом вклад излучения газа в суммарное излучение на длинах волн короче бальмеровского скачка наибольший из области, близкой к холодной звезде. Для точного исследования этого процесса нужны целенаправленные наблюдения.

Еще несколько слов о возникновении водородных линий. По рис. 3b и 3c, несмотря на низкое качество кривой лучевых скоростей по H_{γ}, можно сказать, что она синфазна с кривой по He II. Следовательно, водородные линии тоже возникают в аккреционном диске. Искажения кривой вызваны двумя причинами: неоднородностью аккреции, которая больше всего выражается в неплотных частях аккреционного диска, и излучением водорода в области вблизи красного гиганта.

Итак, мы имеем феноменологическую модель AG Dra, которая приведена на рис. 5. По наклонной орбите ($i \approx 45°$) расположена пара — гигант K5 и белый карлик, аккрецирующий ветер красного гиганта через аккреционный диск. Гигант излучает красное-инфракрасное излучение, в желто-зеленой области спектра прибавляется излучение аккреционного диска, которое вместе с излучением околозвездной среды наблюдается как доминирующая составляющая в ультрафиолетовой области; рентгеновское излучение исходит с поверхности белого карлика, из его полярных областей.

Необходимо сделать выбор между двумя вариантами по табл. 2. Кажется, что модель с малым аккреционным диском более вероятна. В таком случае можно ожидать, что температура достаточно высока для того, чтобы ионизировать околозвездный газ, и полярная плотность достаточно мала для того, чтобы в полярных областях наблюдалось рентгеновское излучение.

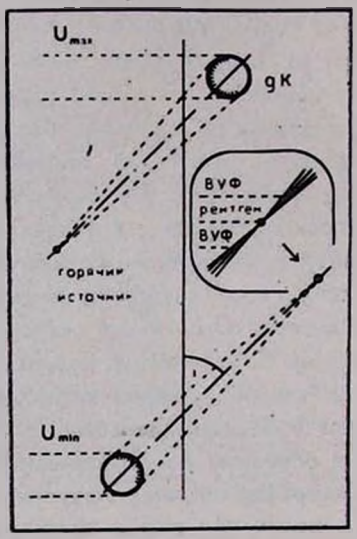

Рис. 5. Объяснение модели AG Dra. Заштрихованная область на поверхности gK-звезды освещается горячим источником и имеет ультрафиолетовый избыток из-за излучения околозвездного водорода за бальмеровским скачком. Это излучение наблюдается лишь тогда, когда gK-звезда за картинной плоскостью. Ультрафиолетовый континуум излучается аккреционным диском, рентгеновское излучение выходит из его внутренних частей около поверхности аккрецирующего белого карлика.

Учитывая все неопределенности, пока рано начинать уточнение модели.

7. *Заключение.* В данной статье мы получили следующие основные результаты: а) показали, что AG Dra является двойной звездой с видимыми линиями обоих компонентов; б) показали, что совокупность наблюдательных фактов можно интерпретировать с помощью модели с дисковой аккрецией ветра красного гиганта белым карликом.

Наиболее вероятные параметры системы следующие:

$$M_{gK} = 2.8\ M_\odot, \quad \dot{M} = 5\cdot 10^{-8}\ M_\odot/\text{год}$$
$$M_{б.к.} = 1.0\ M_\odot, \quad q = 0.037$$
$$a = 440\ R_\odot, \quad R_{диск} = 6R_\odot$$
$$V_{орб} = 30\ \text{км/с}$$

Однако мы не в состоянии доказать единственность нашей модели. Имеющиеся наблюдательные данные допускают и другие интерпретации (см., например, Ипатов и Юдин [1]). Учитывая, что AG Dra имеет малое $E(B-V) = 0.06$ и большое расстояние (0.7—1.2 кпк), прямые наблюдения структуры вряд ли возможны, поскольку требуется разрешение около 0.″001. Поэтому путь к выяснению истины заключается только в комплексных наблюдениях высокой точности. Особенно важно повышение точности лучевых скоростей по разным линиям.

Авторы выражают благодарность А. Линнас, Л. Кивиранд и Х. Тургулайнен за помощь при оформлении данной статьи.

Шемахинская астрофизическая
обсерватория
Институт астрофизики и физики
атмосферы АН Эст.ССР

ON THE MODEL OF THE SYMBIOTIC STAR AG DRA

H. MIKAILOV, L. LUUD

The radial velocities of the He II λ 4686 line from the Shemakha Observatory indicate that AG Dra is a spectroscopic binary whose spectra of both components are observable. The following parameters of the system have been determined: $K_1 = 7.5$ km/s, $K_2 = 21$ km/s and $\gamma = -148$ km/s. For the period of 554-d found by Meinunger we have $M_1 : M_2 = 2.8$, $M_1 \sin^3 i = 0.98\ M_\odot$, $M_2 \sin^3 i = 0.35\ M_\odot$ and $a \sin i = 312 R_\odot$. The model of a white dwarf accreting K-giant's wind is proposed. We have adopted a gK-star with the mass loss rate $5 \cdot 10^{-8}\ M_\odot$/yr and a white dwarf with an approximate mass of 1—1.2 $M_\odot$ as the most adequate case. The ultraviolet flux is radiated by small disk and the X-ray flux from the polar areas of the disk.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. П. Ипатов, Б. Ф. Юдин*, Астрофизика, 25, 435, 1986.
2. *E. M. Leibowitz, L. Formiggini, H. Netzer*, ESA Spec. Publ., ESA Sp-236, 109, 1985.
3. *M. R. Garcia*, Astron. J., 91, 1400, 1986.
4. *О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин*, Астрон. ж., 59, 92, 1982.
5. *R. Viotti, A. Altamore, G. B. Baratta, A. Cassatella, M. Friedjung*, Astrophys. J., 283, 226, 1984.
6. *J. Bortle*, IAU Circ., No. 3554, 1981.
7. *D. Chochol, L. Hric, A. Skopal, J. Papusek*, Con. Astron. Observ. Skalnate Pleso, 12, 261, 1984.

8. *M. T. Martel, R. Gravina*, IBVS, No. 2750, 1985.
9. *W. Wenzel*, IAU Circ, No. 4038, 1985.
10. *J. Bortle, K. Medway, G. M. Hurst, S. Lubbock*, IAU Circ, No. 4045, 1985.
11. *J. Bortle*, IAU Circ, No. 4054, 1985.
12. *J. Bortle*, IAU Circ, No. 4073, 1985.
13. *J. Bortle*, IAU Circ, No. 4091, 1985.
14. *J. Bortle*, IAU Circ, No. 4106, 1985.
15. *R. Luthardt*, IBVS, No. 2789, 1985.
16. *R. Viotti, O. Ricciardi, D. Ponz, A. Giangrande, M. Friedjung, A. Cassatella, G. B. Baratta, A. Altamore*, Astron. and Astrophys., 119, 285, 1983.
17. *N. A. Oliversen, C. M. Anderson*, in "The Nature of Symbiotic Stars," IAU Coll. 70, eds. T. Friedjung, R. Viotti, Reidel, Dordrecht, 1982, p. 177.
18. *N. G. Roman*, Astrophys. J., 117, 467, 1953.
19. *C. C. Huang*, in "The Nature of Symbiotic Stars", IAU Coll. 70, eds. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrecht, 1982, p. 151.
20. *L. Meinunger*, IBVS, No. 1611, 1979.
21. *M. Livio, B. Warner*, Observatory, 104, 152, 1984.
22. *D. Reimers, A. Cassatella*, Astrophys. J., 297, 271, 1985.
23. *M. Livio, J. W. Truran, P. F. Webbink*, Illinois Astronomy, IAP 86—34, 1986.
24. *Л. Луук, Т. Томов, Я. Венник*, Астрофизика (в печати).
25. *Л. Луук, М. Яломяги*, Астрофизика (в печати).
26. *Л. Луук, Л. Леэдьярв*, Астрофизика, 24, 265, 1986.
27. *Y. Gezari, M. Schmitz, J. M. Mead*, NASA Reference Publication, 1118, 1984.
28. *E. R. Sequist, A. R. Taylor, S. Batton*, Astrophys. J., 284, 202, 1984.
29. *Л. Луук, Т. Тувикене*, Астрофизика, 26, 457, 1987.
30. *C. M. Anderson, J. P. Cassinelli, W. T. Sanders*, Astrophys. J., 247, L127, 1981.
31. *J. Lutz, J. Dull, T. Lutz, D. Kolb*, Publ. Astr. Soc. Pacific, 98, 1105, 1986.
32. *З. А. Исмаилов, Х. М. Микаилов*, Астрофизика, 25, 447, 1986.
33. *M. Plavec*, in "The Nature of Symbiotic Stars", IAU Coll. 70, eds. M. Friejung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrect, 1982, p. 177.