

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 11

НОЯБРЬ, 1975

ВЫПУСК 4

ЗАТМЕННАЯ СИСТЕМА V 444 Cyg (WN 5+O6) В СВЕТЕ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ HeII 4686. (HeII + H_α) 6563, N IV 7112

Х. Ф. ХАЛИУЛЛИН, А. М. ЧЕРЕПАЦУК

Поступила 13 мая 1975

Получено около 400 фотоэлектрических измерений интенсивностей эмиссионных линий (60–70 наблюдательных ночей). Это позволило выяснить роль эффектов близости компонент и усреднить физические флуктуации. Эффекты близости компонент уменьшаются с увеличением потенциала ионизации. В эмиссионной полосе HeII, H_α 6563, по-видимому, существенен вклад водорода. Изменения интенсивности эмиссии HeII 4686 во вторичном минимуме не представляется возможным описать моделью геометрического затмения звезды WR спутником O6. Для эмиссии N IV 7112 во вторичном минимуме, по-видимому, применима модель геометрического затмения. Размеры зоны ионизации N V в долях радиуса ядра звезды WR составляют 3.1–4.6 на уровне 50% интенсивности и 4.6–6.5 на уровне 10%. Электронная температура в оболочке WR составляет, по-видимому, 40000–50000°. Оболочка WR описывается моделью Билса, однако роль коллизионных процессов и возбуждения эмиссионных линий не является пренебрежимо малой.

Введение. Для выяснения природы звезд типа Вольфа-Райе (WR) важно исследовать стратификацию излучения оболочки WR в эмиссионных линиях ионов с различными потенциалами ионизации. Определение структуры стратификации можно проводить путем анализа затмений в двойных системах с компонентами WR. В 1968 г. появилась работа Кухи [1], в которой были получены кривые изменения интенсивностей 11 эмиссионных полос в спектре V 444 Cyg. Однако наблюдения Кухи охватывают лишь несколько периодов двойной системы и не все фазы кривой блеска (в основном один, вторичный минимум). Это не позволяет делать заключения о влиянии физической переменности системы V 444 Cyg и о роли эффектов близости компонент. Поэтому, хотя эти наблюдения представляют большой интерес, из них нельзя сделать окончательного вывода о наличии или отсутствии стратификации в оболочке WR. В то же время новый метод решения кривой блеска затменной системы с протяженной атмосферой [2]

дает возможность восстанавливать из кривых затмения в различных эмиссионных линиях структуру диска пекулярной звезды [3]. Последние результаты, касающиеся роли эффектов поглощения в протяженной атмосфере в частотах эмиссионных линий [4], позволяют объяснить пекулярные поведения отдельных эмиссионных линий при затмениях в двойных WR. Поэтому в настоящее время можно корректно ставить задачу определения структуры стратификации излучения в оболочках WR из кривых затмения в различных эмиссионных линиях. Для этого прежде всего необходимо получить наблюдения интенсивностей эмиссионных линий для всех фаз орбитального периода и для возможно большего числа периодов системы.

Наблюдения. В настоящей работе определены интенсивности трех эмиссионных линий в спектре V 444 Cyg: H β 4686, (H γ + H δ) 6563, N IV 7112 практически для всех фаз кривой блеска и охватывающие большое число орбитальных периодов (60–70 наблюдательных ночей по ~400 индивидуальных измерений). Это позволяет рассчитывать на хорошее усреднение физических флуктуаций и выделение регулярной составляющей в изменениях интенсивностей эмиссионных линий с фазой орбитального периода.

Наблюдения выполнены на 48-см и 60-см рефлекторах Крымской станции ГАИШ в 1970–1971 гг. Использовался узкополосный электрофотометр с интерференционными клиновыми фильтрами (ИКФ) на счете фотонов, описанный в [5]. Наблюдения в эмиссионных линиях проводились совместно с наблюдениями континуума, опубликованными в [6, 7]. звездой сравнения была HD 193514 (7^E S_{pec}, 08k), контрольной звездой — HD 193595 (9^m0_{pec}, V). Ширины полос пропускания на уровне половинной интенсивности составляют 60.5 Å, 93 Å и 105 Å для $\lambda\lambda$ 4686, 6563 и 7112, соответственно. Контуры полос пропускания приведены в [8]. Эффективные ширины полос пропускания составляют 94 Å, 140 Å и 163 Å для $\lambda\lambda$ 4686, 6563 и 7112, соответственно.

Наблюдения в каждой области спектра проводились дифференциальным способом по отношению к HD 193514 по следующей схеме: HD 193514 — V 444 Cyg — HD 193514 — и т. д. Время между наведением на переменную звезду и звезду сравнения для данной λ не превышает 3 мин, что позволяет свести к минимуму влияние нестабильности прозрачности земной атмосферы. Серия таких измерений в течение ~15 мин давала отрезок кривой блеска в данной λ (3–5 индивидуальных измерений), затем λ менялась, и наблюдения повторялись по той же схеме. Таким образом, максимальное различие во времени наблюдений для разных λ не превышает 1–1.3 часа, поэтому можно считать, что эффекты физической изменчивости с характерным временем $\gg 1$ часа сказались на наблюдениях во всех λ практически в одинаковой степени. Разность между интенсивностью излу-

чения и эмиссионной области спектра и интенсивностью соседнего континуума, проинтерполированной на данную эмиссию, дает интенсивность эмиссионной линии, выраженную в долях интенсивности излучения звезды сравнения. Если известно абсолютное распределение энергии в спектре HD 193514, то наши данные позволяют выразить интенсивности эмиссионных линий в абсолютных энергетических единицах. Таким образом, наши результаты дают возможность исследовать изменения интенсивностей эмиссионных линий независимо от изменений континуума.

Изменения интенсивностей эмиссионных линий с фазой орбитального периода представлены на рис. 1. Каждая точка — среднее из 2–4 индивидуальных измерений одной ночи. Среднеквадратичная ошибка для каждой точки составляет ~ 2 : 6: 6% для $\lambda\lambda$ 4686, 6563, 7112, соответственно. Фазы вычислены с элементами [6]:

$$\text{Min. 1 hel.} = \text{J. D. } 2441164.332 + 4^d 212424 \text{ E.}$$

На рис. 1 и далее за единицу интенсивности принята интенсивность излучения в фазе ~ 1.2 . Как видно из рисунка и анализа таблиц наблюдений (которые приведены в [8]), на регулярные изменения интенсивностей линий, связанные с орбитальным обращением компонент в двойной системе, накладывается значительная хаотическая переменность с амплитудой до 25% интенсивности линии. Очевидно, что для надежного выявления регулярных изменений интенсивностей линий необходимо усреднение наблюдений, охватывающих большое число периодов.

Средние кривые изменения интенсивностей линий. Эти кривые приведены на рис. 2. Сплошные линии при этом — сглаженные от руки кривые. Незаполненные кружки отражают более ранние наблюдения, полученные Черепашуком [9]. Рассеяние нормальных точек обусловлено главным образом неполным усреднением физических флуктуаций.

Изменения интенсивностей линий в течение ночи. Эти изменения показаны на рис. 3. Видно, что поведение интенсивностей эмиссионных линий в течение ночи носит весьма индивидуальный характер. В частности, в интервале фаз $0^m 4 - 0^m 6$ (вторичный минимум, соответствующий затмению звезды WR спутником Об), минимум интенсивности эмиссионных линий не всегда приходится на фазу $0^p 50$. Сдвиг минимума интенсивности эмиссии N IV 7112 может достигать $0^p 02 - 0^p 03$ в обе стороны относительно момента минимума в континууме (последний всегда приходится на фазу $0^p 5$). Эмиссии He II 4668 и (He II + H γ) 6563 зачастую вообще не показывают какой-либо тенденции образовывать минимум в окрестности фазы $0^p 50$ в течение отдельной ночи. В такой же степени индивидуально

поведение всех трех эмиссий и в интервале фаз $0^{\circ}0' - 0^{\circ}1'$ и $0^{\circ}9' - 1^{\circ}0'$, а также в фазах $\sim 0^{\circ}25'$ и $\sim 0^{\circ}75'$, где также наблюдается большая физическая переменность (существенно большая, чем в континууме). Например, эмиссия HeII 4686 уменьшилась за 1 час на 8% в момент I.D.2441199 (см рис. 3, фаза $0^{\circ}30' - 0^{\circ}35'$).

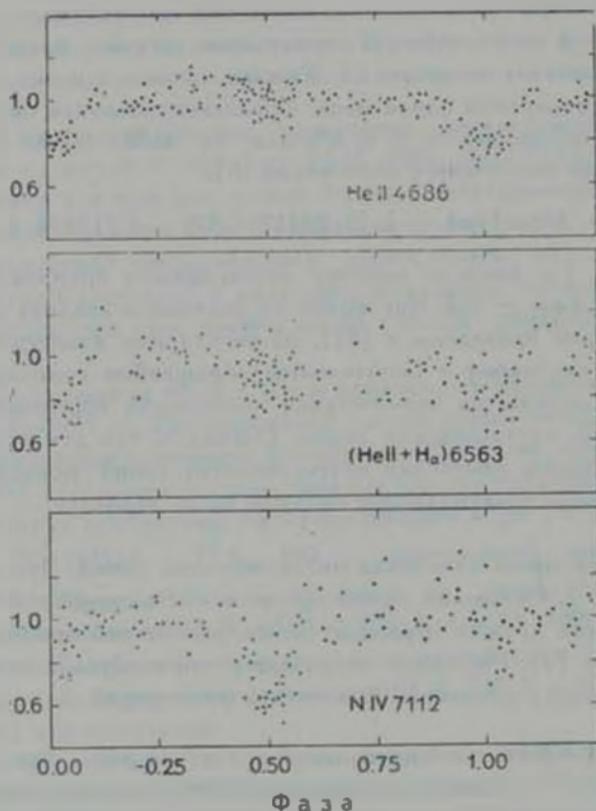


Рис. 1. Интенсивности эмиссионных линий в спектре системы V 444 Cyg в зависимости от фазы орбитального периода. Эквивалентные ширины вне затмений составляют в среднем 48,5 Å, 25,6 Å, 37,5 Å для $\lambda\lambda$ 4686, 6563, 7112, соответственно.

Таким образом, в эмиссионных линиях наблюдается физическая переменность оболочки WR, значительно большая, чем в континууме. Отметим, что одиночные звезды WR, по-видимому, не обнаруживают столь сильной физической переменности эмиссионных линий [10]. Можно предполагать в связи с этим, что значительная физическая переменность в линиях системы V 444 Cyg связана с эффектами близости компонент (газо-

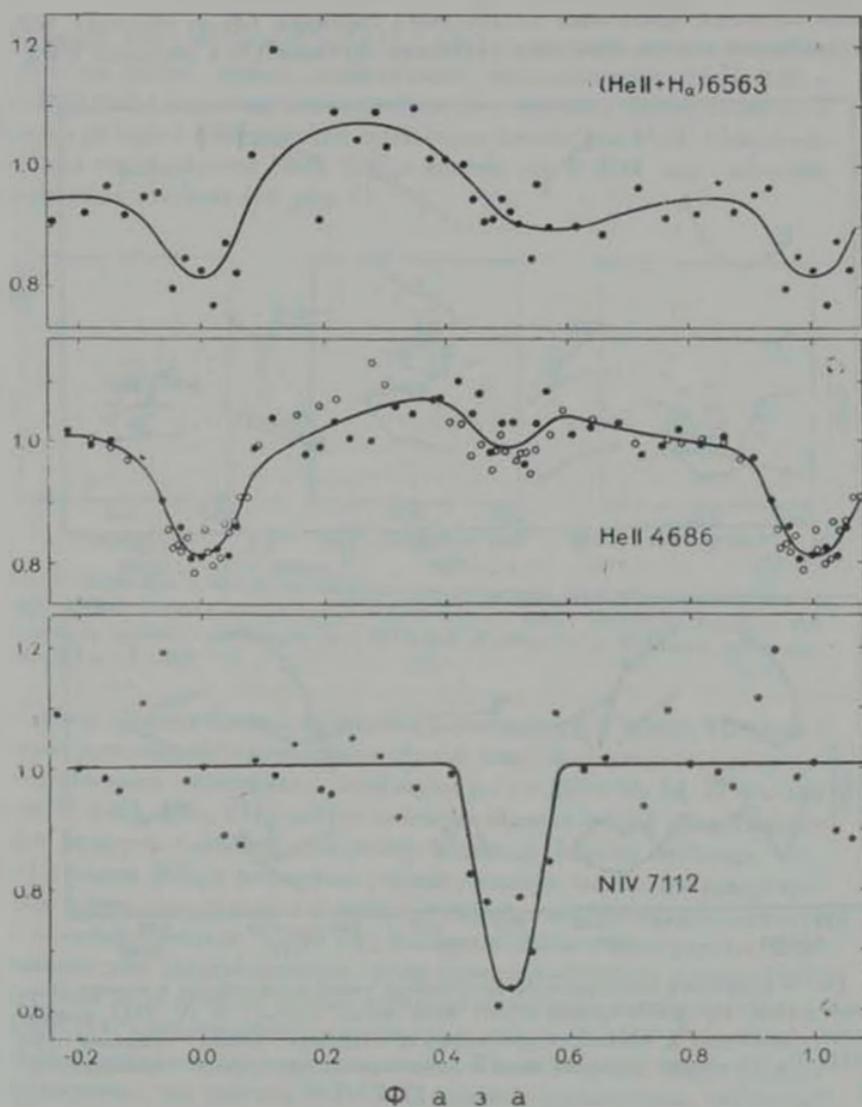


Рис. 2 Средние кривые изменения интенсивностей эмиссионных линий. Светлые кружки — наблюдения Черепашука [9]. Сплошные линии — сглаженные от руки кривые.

выми потоками: приливным воздействием спутника. Об на оболочку WR, переработкой коротковолнового излучения спутника Об в оболочке WR).

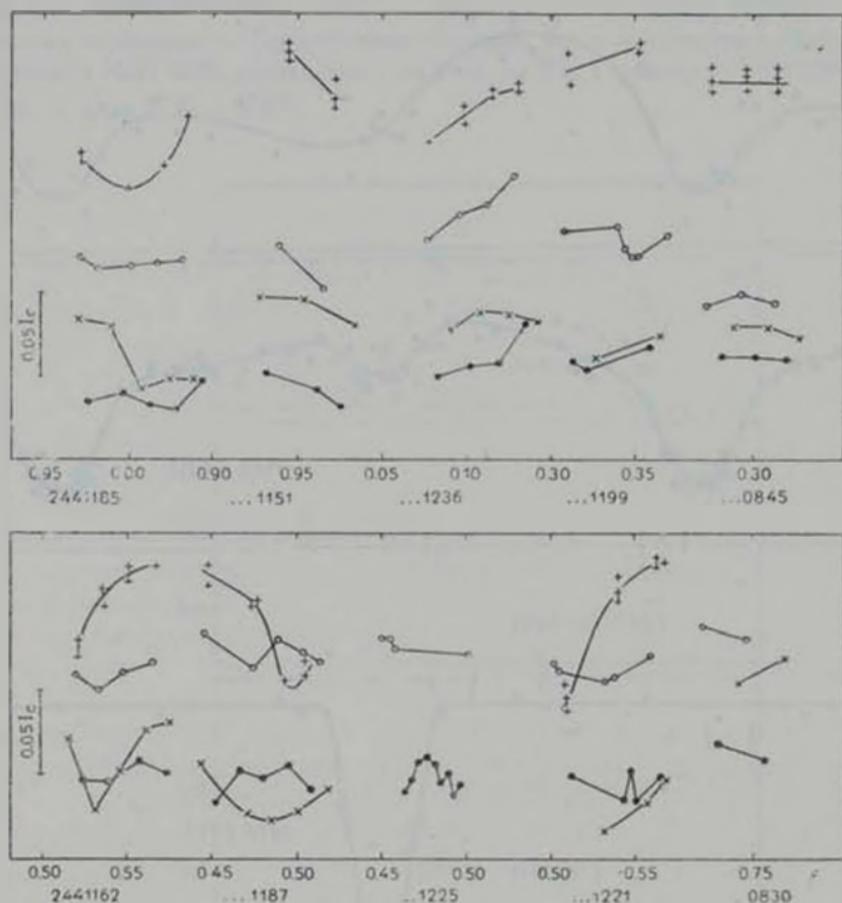


Рис. 3. Изменения интенсивностей эмиссионных линий и континуума в течение ночи. Точки — He II, H, 6563, кружки — He II 4686, косые кресты — N IV 7112, прямые кресты — континуум λ 4244 I, — интенсивность излучения звезды сравнения HD 193514. По оси абсцисс отложены фазы и долях периода, числа внизу — юлианские даты.

Физические флуктуации линий от ночи к ночи. Среднеквадратичная амплитуда физических флуктуаций от ночи к ночи составляет ~ 5; 10 и 10% для He II 4686, (He II + H.) 6563 и N IV 7112, соответственно. На рис. 4 приведена зависимость между интенсивностями различных эмиссионных линий в фазах вне затмений. Видно, что между изменениями ин-

интенсивностей HeII 4686 и (HeII+H_δ) 6563 существует грубая корреляция, в то же время между изменениями интенсивностей HeII 4686 и N IV 7112 такая корреляция отсутствует. Это косвенно свидетельствует о том, что в бленду λ 6563 значительный вклад вносит ион HeII. Между изменениями интенсивности HeII 4686 и континуума λ 4244 вне затмений корреляция отсутствует (см. рис. 4).

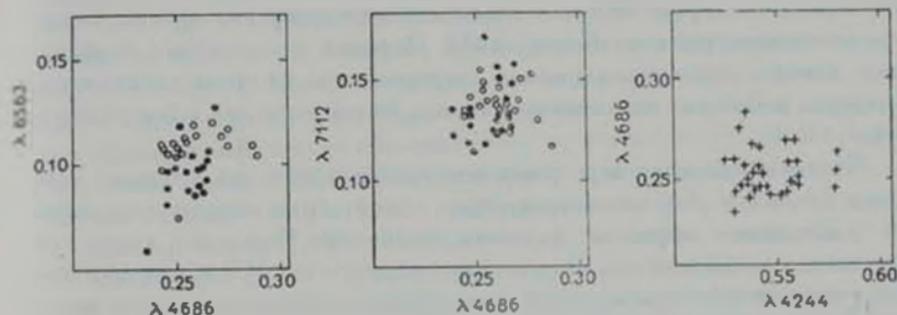


Рис. 4. Зависимость между интенсивностями различных эмиссионных линий и континуумом λ 4244 в фазах вне затмений. Точки соответствуют интервалу фаз $0.0 \div 0.9$, незаполненные кружки — интервалу фаз $0.1 \div 0.4$. Континуум λ 4244 — в интервалах фаз $0.2 \div 0.3$ и $0.7 \div 0.8$.

Анализ средних кривых изменения интенсивностей линий. На рис. 2 отчетливо прослеживается эволюция кривой изменения интенсивностей линий с изменением потенциала ионизации χ ($\chi = 13.5 \div 54, 54, 77$ э-в для эмиссий $\lambda\lambda$ 6563, 4686, 7112, соответственно). Кривая λ 6563 обнаруживает сильные эффекты близости компонент, индивидуальность оболочки, связанной с ядром WR, практически утеряна: кривую можно интерпретировать как проявление газового потока, несимметрично обтекающего звезду Об. О наличии в системе V 444 Cyg газовых потоков в пространстве между компонентами свидетельствуют также спектроскопические данные [11]. Кривая HeII 4686 заметно меньше искажена подобными эффектами, а кривая N IV 7112 обнаруживает практически полное отсутствие в регулярных изменениях эффектов близости компонент. Таким образом, наши данные свидетельствуют, что эмиссия N IV 7112 наиболее перспективна для исследования структуры оболочки WR, поскольку последняя в лучах данной эмиссии сравнительно слабо возмущена эффектами близости спутника Об. Это еще раз подчеркивает необходимость исследования изменений интенсивности эмиссионных линий в фазах вне затмений при определении структуры эмиссионной оболочки WR из кривых затмения в линиях. Отсутствие кривых интенсивностей эмиссий HeII 4686 и (HeII+H_δ) 6563 свидетельствует о том, что в бленду λ 6563 существенный вклад вносит ли-

ния Н_γ. Ранее [4], при анализе узкополосных наблюдений CQ Cer (WN 6+O7), был выявлен подобный же эффект: кривая блеска CQ Cer в эмиссионной линии (HeII+H_γ) 6563 имеет более пекулярное поведение с фазой, чем кривая HeII 4686, что было интерпретировано также вкладом водорода в бленду λ 6563. В связи с этим, можно заключить, что вещество оболочек звезд WR, обладая в основном гелиевым химсоставом, имеет заметную примесь водорода. Этот вывод сделан нами независимо от конкретной модели атмосферы WR — только на основе сравнения кривых изменения интенсивностей отмеченных линий. Заметим, что подобное блендирование линий с различными χ может служить одной из причин пекулярного поведения некоторых эмиссионных полос с фазой затмения, обнаруженного Кухи [1].

Таким образом, по мере роста потенциала ионизации χ кривые изменения интенсивностей соответствующих линий обнаруживают прогрессивное уменьшение эффектов близости компонент. Поскольку, кроме того, естественно предположить, что анизотропия оболочки WR и эффекты близости возрастают с увеличением характерных размеров оболочки, можно сделать вывод, как и в случае CQ Cer [4], что размеры зон ионизации растут с уменьшением χ , как в модели Билса [12].

Как видно из рис. 2, наряду с отмеченными выше эффектами близости компонент, интенсивности эмиссионных линий HeII 4686 и (HeII+H_γ) 6563 уменьшаются на 20 ÷ 25% в главном минимуме ($\theta=0$), соответствующем затмению звезды Об оболочкой звезды WR. Эмиссия N IV 7112 показывает резко пекулярное поведение в главном минимуме. Все три эмиссии уменьшают свою интенсивность во вторичном минимуме, это уменьшение особенно сильно у линии N IV 7112 и достигает 40 ÷ 50%.

Уменьшение интенсивностей эмиссионных линий в главном минимуме связано, по-видимому, с селективным атмосферным затмением звезды Об оболочкой WR. В пользу этого свидетельствуют как спектроскопические [13], так и фотометрические данные [4, 14]. Анализ наблюдений интенсивностей линий в главном минимуме, проведенный нами в [15], показывает, что внешние части оболочки WR в значительной степени непрозрачны для собственного излучения в отдельных спектральных линиях и что в формировании некоторых эмиссионных линий (в частности, HeII 4686) большую роль играют процессы поглощения и самопоглощения. В то же время отсутствие заметного минимума в кривой изменения интенсивности эмиссии N IV 7112 в окрестности фазы 0°0, свидетельствует о том, что оболочка WR, по-видимому, прозрачна для собственного излучения в данной линии (пекулярное поведение интенсивности эмиссии N IV 7112 в окрестности фазы 0°0, возможно, связано с физической переменностью и может исчезнуть при усреднении большего числа периодов).

Непрозрачность оболочки WR в частотах спектральных линий сильно усложняет интерпретацию наблюдений V 444 Cyg во вторичном минимуме в частотах линий, так как при этом в лучах эмиссии становится непригодной модель чистого геометрического затмения. Действительно, если оболочка WR непрозрачна для собственного излучения в частотах данной эмиссии, то, как показано в [4], при затмении оболочки WR спутником Об эта линия будет стремиться «выскакивать» над уровнем соседнего континуума, увеличивая свою видимую интенсивность, которая определяется непосредственно из наблюдений («эффект CQ Сер»). Если постулировать наличие под эмиссионной линией абсорбции с постоянной эквивалентной шириной A , образующейся в непрерывном спектре звезды WR в селективно поглощающей «собственной оболочке WR», то интенсивность видимой эмиссии должна меняться зеркально симметрично относительно изменений континуума системы с амплитудой, пропорциональной A (если пренебречь другими причинами). Метод интерпретации затмений в частотах линий подробно описан в [15], где, в частности, проведен учет эффектов селективного поглощения в оболочке WR при затмении последней спутником. Задая ряд фиксированных значений A , получим ряд теоретических кривых изменения интенсивностей эмиссии, обусловленных «эффектом CQ Сер». Вычитая из наблюдаемых изменений интенсивностей эмиссии эти теоретические кривые, получим ряд «действительных» кривых изменения интенсивности эмиссии, исправленных за влияние «эффекта CQ Сер». Однако интерпретация полученных таким образом «действительных» кривых изменения интенсивности эмиссии все еще остается неопределенной, поскольку из-за возможной анизотропии плотности и возбуждения в оболочке WR, вызванной радиативным и гравитационным воздействием спутника Об, картина геометрического затмения оболочки WR звездой Об может быть искажена усиленным поглощением континуума ядра звезды WR в частотах линии материей, расположенной в пространстве между компонентами [4]. На основе наших данных не представляется возможным количественно оценить вклад каждого из этих эффектов в формирование наблюдаемых кривых изменения интенсивностей эмиссионных линий. Дальнейший анализ наших данных основан на предположении, что эффектами дополнительного поглощения континуума звезды WR веществом, расположенным в пространстве между компонентами, можно пренебречь. Можно предполагать, что эта гипотеза разумна для линий с высокими λ .

Возможная структура диска звезды WR в лучах эмиссионных линий.

В предположении о геометрической модели затмения нами была решена задача о восстановлении распределения яркости по диску WR из кривых изменения с фазой интенсивностей эмиссий HeII 4686 и N IV 7112, исправленных за «эффект CQ Сер» при различных значениях величины A .

Решение кривой (HeII + H_α) 6563 не проводилось из-за ее значительного искажения эффектами близости компонент. Кривая изменения интенсивности эмиссии HeII 4686 ректифицировалась по формуле, приведенной в [16], с константами ректификации $b=0.037$, $c=-0.05$ в законе $l=a - b \cos \theta - c \cos^2 \theta$, и предположении, что эффектом эллипсоидальности можно пренебречь по сравнению с эффектом отражения. Ректификация кривой изменения интенсивности эмиссии N IV 7112 не проводилась, поскольку константы ректификации здесь близки к нулю. Использовался прямой метод решения кривой блеска затменной системы с протяженной атмосферой [17]. Задача решалась при фиксированных значениях геометрических параметров $r_1 = 10 R_*$, $i = 78^\circ$, определенных в [16]. При этом искомым функцией распределения яркости $\bar{I}_c(\xi)$ имеет смысл:

$$\bar{I}_c(\xi) = \frac{1}{\Delta \lambda} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_c(\xi, \lambda) d\lambda,$$

где $\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ — полная ширина эмиссионной линии, ξ — полярное расстояние на диске WR в долях радиуса относительной орбиты. Отметим, что поскольку спутник не светит в эмиссионных линиях, светимость звезды WR

$$L_W = \int_0^{R_*} \bar{I}_c(\xi) 2\xi d\xi,$$

полученная в результате интегрирования найденной функции $\bar{I}_c(\xi)$ по диску WR, должна быть больше или равна единице в том случае, если справедлива модель геометрического затмения и светимость оболочки, общей для всей системы, равна нулю [3]. Исходя из этого условия, можно попытаться определить величину A , поскольку искомые функции $\bar{I}_c(\xi, A)$ и параметры $L_W(A)$ сильно зависят от принятого значения величины A . Для эмиссии HeII 4686 изменение величины A от нуля (прозрачная в линии оболочка WR) до предельного значения A_{\max} , при котором введенная гипотетическая абсорбция имеет нулевую остаточную интенсивность при ширине, равной 2000 км/сек, изменяет светимость звезды WR от 0.34 до 0.51, что сильно отличается от единицы. Это обстоятельство, наряду с сильными эффектами близости для этой эмиссии, не позволяет надежно интерпретировать полученную функцию $\bar{I}_c(\xi)$ для эмиссии HeII 4686 как распределение яркости по диску WR. Возможно, что вторичный минимум интенсивности эмиссии HeII 4686 не отражает геометрическое затмение оболочки WR спутником, а полученная в этом случае функция $\bar{I}_c(\xi)$ не описывает структуру диска звезды WR, что не позволяет использовать эту функ-

цию для решения вопроса о стратификации излучения в оболочке WR. Для эмиссии N IV 7112 уже при $A=0$ получается светимость, равная единице. Увеличение A увеличивает светимость звезды WR, однако, поскольку, как отмечалось выше, оболочка WR прозрачна в линии N IV 7112, случай $A=0$ наиболее близок к действительности. Таким образом, к изменениям интенсивности эмиссии N IV 7112 во вторичном минимуме, по-видимому, применима геометрическая модель затмения, и функция $\bar{I}_1(\xi)$ в данном случае отражает структуру оболочки WR. Функция $\bar{I}_1(\xi)$ в этом случае может быть использована для оценки размеров соответствующей зоны понижения.

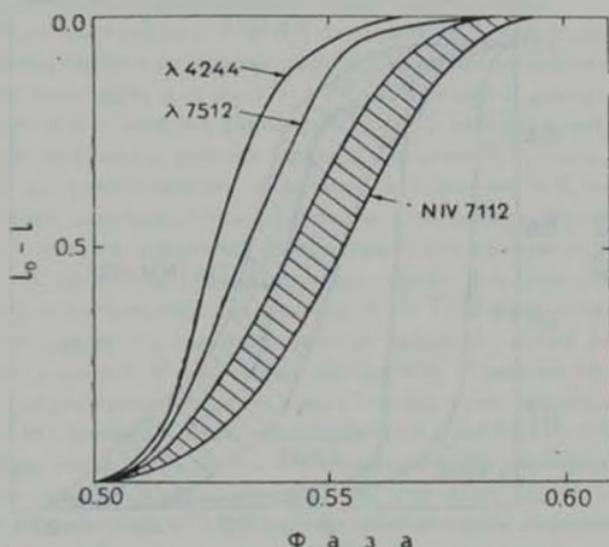


Рис. 5. Сглаженные кривые изменения интенсивности континуума $\lambda 4244$ и 7512 , а также кривая изменения интенсивности эмиссионной линии N IV 7112 в фазах вторичного минимума. Кривые приведены к одной глубине. I_0 — внезатмевное значение интенсивности, $(I_0 - I)$ — потеря интенсивности. Заштрихованная область отражает разницу наблюдаемых точек.

На рис. 5 изображены сглаженные кривые изменения интенсивностей континуума $\lambda 4244$ и 7512 , а также кривая изменения интенсивности эмиссии N IV 7112 в фазах вторичного минимума. Видно, что ширина этого минимума в частотах эмиссии N IV 7112 значительно больше, чем в континууме. Сглаженные функции $\bar{I}_1(\xi)$, выражающие распределение яркости по диску WR в частотах континуума $\lambda 4244$, 7512 , а также в частотах эмиссии N IV 7112, приведены на рис. 6. Видно, что размеры оболочки WR,

светящейся в частотах эмиссии N IV 7112, значительно превосходят размеры этой оболочки, светящейся в континууме. Накопление наблюдательных данных по эмиссионным линиям с более высокими потенциалами ионизации χ (для которых, как можно предполагать, эффекты близости также должны быть малы), позволит определить структуру стратификации излучения в оболочке WR и на этой основе выяснить природу образования мощного эмиссионного линейчатого спектра звезд WR. В этой связи представляется весьма перспективным исследование системы V 444 Cyg в частотах эмиссии N V 4609 ($\chi = 97$ э-в). Отметим, что использование данных Кухи [1] по эмиссии N V 4609 позволяет заподозрить, что оболочка WR

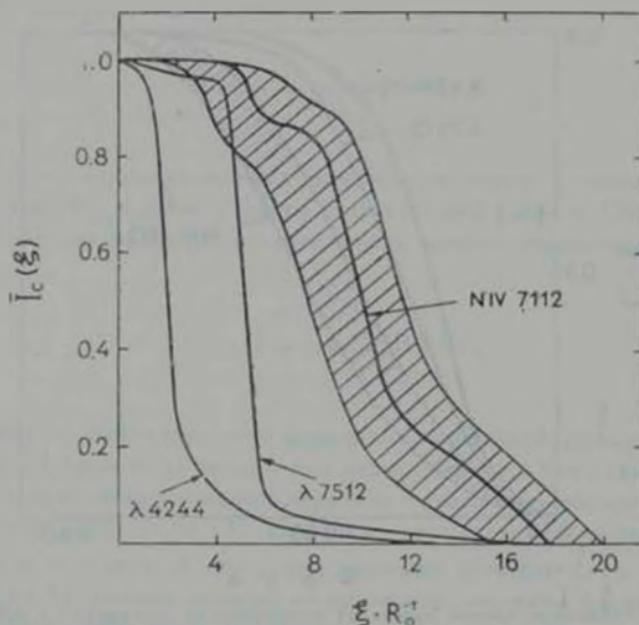


Рис. 6. Сглаженные функции $\bar{I}_c(\xi)$, выражающие распределение яркости по видимому диску звезды WR и континууме λ 4244 и 7512 и в эмиссионной линии N IV 7112. Заштрихованная область соответствует погрешности определения функции $\bar{I}_c(\xi)$ на прямой изменения интенсивности эмиссии N IV 7112 (см. рис. 5).

в лучах второй эмиссии имеет примерно вдвое меньше размеры по сравнению с эмиссией N IV 7112 ($\chi = 77$ э-в). Это может служить указанием на наличие прямой стратификации излучения в оболочке WR (как в планетарных туманностях), что служит аргументом в пользу модели феномена WR, предложенной Билсом [12]: излучение в линиях происходит за счет флуоресцентной переработки коротковолнового излучения горячего ядра (температура которого, как следует из наших данных [18] по анализу затмений

в системе V 444 Cyg в континууме, составляет ~ 100000). Однако, как отмечалось выше, наблюдательных данных Куки недостаточно для надежного выявления структуры стратификации излучения в оболочке WR. Для успешного решения этой важной задачи необходимо провести наблюдения эмиссии N V 4609 для большого числа орбитальных периодов и для всех фаз кривой блеска. Заметим, что эмиссия N V 4609 значительно менее интенсивна по сравнению с эмиссией N IV 7112 и потому ее исследование в системе V 444 Cyg требует применения сравнительно крупных телескопов.

Обсуждение результатов. Размеры оболочки WR, светящейся в лучах эмиссии N IV 7112, значительно превосходят размеры ядра звезды WR ($\sim 2.6R_{\odot}$ [18]) и в долях радиуса ядра r_{\odot} составляют $r/r_{\odot} = 3.1 \div 4.6$ на уровне 50% интенсивности и $4.6 \div 6.5$ на уровне 10% интенсивности. В случае рекомбинационного механизма свечения в линии, отношение r/r_{\odot} задает радиус зоны ионизации для иона N V. Столь большой радиус зоны свечения оболочки WR в частотах эмиссии N IV 7112 не может быть обусловлен электронным рассеянием квантов линии в оболочке WR, поскольку оптическая толщина по томсоновскому рассеянию в оболочке WR на расстояниях $> 2r_{\odot}$ меньше единицы. Роль электронного рассеяния существенна лишь в глубоких слоях, где рассеяние перераспределяет кванты внутри линии и приводит к ее уширению [13]. Поскольку, кроме того, как отмечалось выше, роль эффектов близости для эмиссии N IV 7112 мала, можно предполагать, что отношение r/r_{\odot} для этой эмиссии задает истинные размеры зоны ионизации для иона N V в оболочке звезды WR. В модели Билса [12], которая в последнее время получила много независимых подтверждений (см., например, [18]), размеры зоны ионизации для иона He III должны превышать размеры зоны N V, поскольку ионизационный потенциал для He III существенно меньше. Таким образом, r/r_{\odot} для зоны He III, по-видимому, составляет не меньше, чем 3.1. Количественная теория оболочки WR, основанная на модели Билса, при электронной температуре в оболочке WR $T_e = 25000^{\circ}$ приводит к выводу о том, что геометрическая протяженность зоны He III сравнительно невелика — от нескольких десятых до одного радиуса ядра [19]. В нашем случае протяженность зоны He III в несколько раз больше. Это может свидетельствовать о том, что T_e в оболочке WR значительно превышает 25000° . Расчеты Слюсарёва [20] ($T_e = 80000^{\circ}$) дают для зоны He III $r/r_{\odot} = 5 \div 8$. Ильмас и Нугис [21] при $T_e = 60000^{\circ}$ получили для звезд WN 6 хорошее описание спектра He II при $r/r_{\odot} = 5$ для зоны He III. Таким образом, наши результаты дают основания считать, что T_e в оболочке WR не слишком низка и скорее всего составляет $40000 \div 50000^{\circ}$. В то же время, из анализа затмений и континууме оболочки WR в системе V 444 Cyg следует, что T_e в оболочке не очень высока: $T_e < 100000^{\circ}$. О не слишком высокой электронной температуре T_e еще-

ства оболочки WR свидетельствует также отсутствие запрещенных линий в спектре звезды WR (согласно расчетам Канно и др. [22], при $T_e > 40000^\circ$ должна иметь место заметная интенсивность линий [OIII] и [N V] в спектре WR). В то же время, определенная эмпирически из анализа затмений в континууме в системе V 444 Cyg [18] температура поверхности ядра звезды WR превышает $70000 \pm 100000^\circ$.

Таким образом, анализ затмений в континууме [18] и в эмиссионных линиях в системе V 444 Cyg приводит сильные эмпирические аргументы в пользу модели Билса [12]: в оболочке WR главная роль в возбуждении эмиссионных линий принадлежит радиативным процессам, роль коллизионных процессов вторична, но не пренебрежимо мала, поскольку T_e в оболочке не мала ($40000 \pm 50000^\circ$). В связи с этим, при интерпретации линейчатого эмиссионного спектра звезд WR, наряду с радиативными процессами, необходим учет влияния электронных ударов [22, 23].

Государственный астрономический
институт им. П. К. Штернберга

THE ECLIPSING SYSTEM V 444 CYG (WN 5 + O6)
IN THE LIGHT OF EMISSION LINES H α 4686,
(H α + H γ) 6563, N IV 7112

Kh. F. KHALIULIN, A. M. CHEREPASHCHUK

We obtained about 400 photoelectric intensity measurements for each of several emission lines (from 60 to 70 nights of observations). This enabled us to find out the role of the proximity effects in the double system and to take the average of the intrinsic fluctuations of the brightness. The proximity effects decrease when the ionization potential increases. The contribution of hydrogen to the emission band H α , H γ 6563 is probably significant. It seems to be impossible to describe the changes of the intensity of H α 4686 during the secondary minimum with the help of the model of the geometric occultation of the WR star by the O β component. The model of the geometric occultation seems to be applicable for the emission feature N IV 7112. The N IV ionization zone has the following dimensions in the units of the radius of the WR stellar nucleus: $3.1 - 4.6$ at the 50 per cent intensity level and $4.6 - 6.5$ at the 10 per cent level. The electron temperature in the WR envelope ($40000 - 50000^\circ$) may be described with Beals model; however, the role of the collision process in the excitation of emission lines is not negligible.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. V. Kuhi, *Ap J*, 152, 89, 1968.
2. А. М. Черпащук, *Астрон. ж.*, 51, 542, 1974.
3. А. М. Черпащук, А. В. Гончарский, А. Г. Ятлова, *Астрон. ж.*, 49, 533, 1972.
4. Х. Ф. Халиуллин, *Астрон. ж.*, 49, 777, 1972.
5. А. М. Черпащук, В. М. Любый, Х. Ф. Халиуллин, *Астрон. ж.*, 50, 1105, 1973.
6. А. М. Черпащук, Х. Ф. Халиуллин, *Астрон. ж.*, 50, 516, 1973.
7. А. М. Черпащук, Х. Ф. Халиуллин, *Переменные звезды*, 18, 321, 1972.
8. Х. Ф. Халиуллин, А. М. Черпащук, *ПЗ*, 20, № 1, 1975.
9. А. М. Черпащук, *ПЗ*, 16, 226, 1967.
10. А. М. Черпащук, *Астрофизика*, 10, 347, 1974.
11. J. Sahade, *Mem. Soc., Roy. Sci. Liege*, 20, 16, 1958.
12. C. S. Beals, *M. N.*, 104, 205, 1944.
13. G. Münch, *Ap J*, 112, 26a, 1950.
14. А. М. Черпащук, *Астрон. ж.*, 48, 1201, 1971.
15. Х. Ф. Халиуллин, А. М. Черпащук, *Астрон. ж.*, 53, 1976 (в печати).
16. А. М. Черпащук, *Астрон. ж.*, 52, 81, 1975.
17. А. М. Черпащук, *ПЗ*, 19, 227, 1973.
18. А. М. Черпащук, Х. Ф. Халиуллин, *Астрон. ж.*, 52, № 6, 1975.
19. С. В. Рыбин, *Астрон. ж.*, 42, 718, 1965.
20. С. Г. Ситсарел, *Астрон. ж.*, 32, 346, 1955.
21. М. Хильмас, Т. Нулис, сб. «Эмиссионные линии в спектрах звезд типа Вольфа-Райе», Тарту, 1973, стр. 19.
22. M. Kanno, S. Kawabata, *T. Kagure, Publ. astr. Soc. Japan*, 10, 129, 1958.
23. J. I. Castor, *M. N.*, 149, 111, 1970.