

Предварительное исследование спектра ВМ Ориона

В.С.Шевченко, М.М.Закиров

На основе исследования спектрограмм ВМ Ori с дисперсией $36 \text{ \AA}^\circ/\text{мм}$, полученных вблизи минимума (фазы 0.0066 и 0.0154) и вне затмения (фазы 0.3268 и 0.7933), авторы определили истинные контуры водородных линий главного компонента, которые соответствуют спектру В2 и оценили возможный вклад эмиссионных линий, вызванный предполагаемым истечением вещества из В-звезды. Собственная эмиссия от звезды не обнаружена, что не подтверждает гипотезу Хуанга. Признаков второго компонента в минимуме и вне затмения ВМ Ori при анализе профилей линий не обнаружено.

Для описания существующих наблюдательных данных авторы предлагают гипотезу о спутнике ВМ Ori, как звезде малой массы, окруженной протяженной пылевой оболочкой.

A Preliminary Study of the Spectrum of ВМ Orionis

by V.S.Shevchenko, M.M.Zakirov

ВМ Ori was observed spectroscopically (dispersion $36 \text{ \AA}^\circ/\text{mm}$) near primary minimum (phases 0.0066 and 0.0154) and out of eclipse (phases 0.3268 and 0.7933). Authors restored true profiles of hydrogen lines of main component – В2-star. The star has not own emission in the hydrogen lines, that does not confirm the Huang's hypothesis. The ВМ Ori spectrum has no indication of lines of secondary component at the primary minimum and out of eclipse. The authors' interpretation of the observations of ВМ Ori is that its secondary component is the star of little luminosity and small mass ($< 0.3 M_\odot$) and it has extensive dust envelope.

Введение.

Первые фотоэлектрические наблюдения ВМ Ori были проведены Хэллом и Гаррисоном (1969). Определением спектроскопических элементов занимались Струве, Титус (1944) и Доремус (1970). Авторы не нашли в спектре ВМ Ori линий второго компонента, хотя Паренаго (1948), Хэлл и Гаррисон (1969) предсказывали спектральный класс спутника А8 и А1, соответственно. Доремус (1970) предпринимала специальный поиск спектральных линий второго компонента в моменты главного минимума ВМ Ori. Однако, из опубликованных Доремус моментов спектральных наблюдений ВМ Ori, нам не удалось отыскать моменты главного минимума. В момент главного минимума, согласно Хэллу и Гаррисону (1969), происходит полное затмение главного компонента В3. Струве и Титус (1944) не отмечают изменений в спектре ВМ Ori в моменты главного минимума. Эта замечательная особенность главного минимума

ВМ Ori была по-разному интерпретирована у ряда авторов. Хэлл (1971) выдвинул предположение, что спутник ВМ Ori представляет собой сильно сплюснутую вследствие быстрого собственного осевого вращения звезду. Подвергнув сомнению существование таких звезд, Вильсон (1972) представил спутник как "черную дыру", окруженную тонким диском. Эта модель аналогична модели ϵ Aur (Вильсон, 1971). Хуанг (1974) предложил модель ВМ Ori, второй компонент которой окружен непрозрачным диском. Эта модель не объясняет природу спутника ВМ Ori, а только указывает, что его радиус $R \leq 0.032\Delta$ (Δ — среднее расстояние между компонентами). Диск вокруг второго компонента светится за счет электромагнитной энергии горячего компонента ВЗ. Механизм перетекания вещества главного компонента Хуанг уподобляет механизму истечения вещества из Ве-звезд. В присутствии близкого спутника истечение вещества горячей звезды происходит значительно интенсивнее. Как известно, звезды, у которых происходит истечение вещества, имеют в спектрах эмиссионные линии. Поэтому следует предположить, что в спектре ВМ Ori присутствуют эмиссионные линии оболочки.

Целью настоящей работы является поиск спектральных линий второго компонента и оценка возможного вклада эмиссионных линий главного компонента ВМ Ori в синтетический спектр звезды и туманности.

Наблюдения и обработка.

1. В ноябре 1970 г. на 122 см рефлекторе КАО АН СССР со спектрографом АСП-11 были получены четыре спектрограммы ВМ Ori с дисперсией $36 \text{ \AA}^\circ/\text{мм}$. В качестве спектра сравнения служили спектры звезд θ^1 Ori C (HD 37022) и β Leo. Все спектры экспонировались на пленку А-500. Ниже приведены характеристики спектрограмм ВМ Ori.

Таблица 1.

№/№	Ј.Д.	Фаза	Время эксп.
	2440000+		
1	912.439	0.0066	1.1
2	912.495	0.0154	1.1
3	914.510	0.3268	1.5
4	917.528	0.7933	0.7

Обработка спектрограмм проведена на микрофотометре КАО АН СССР. Фактическое разрешение на спектрограммах около 1 \AA° . В качестве иллюстрации приведена запись эмиссионной линии туманности Ориона [OII] $\lambda\lambda$ 3726.0 и 3728.8 \AA° (рис.1).

2. В спектре ВМ Ori видны широкие линии поглощения звезды, на которые наложены узкие и интенсивные линии туманности. Мы предположили, что существует собственная эмиссия ВМ Ori в линиях, тогда интенсивность этих линий должна меняться с фазой. Изменение интенсивности эмиссионных линий происходит вследствие различия лучевых скоростей ВМ Ori и туманности. По данным Струве и Титус (1944) полуамплитуда кривой лучевой скорости ВМ Ori составляет 81 км/сек , а туманность вокруг звезды имеет лучевую скорость $+18 \text{ км/сек}$. Учитывая скорость

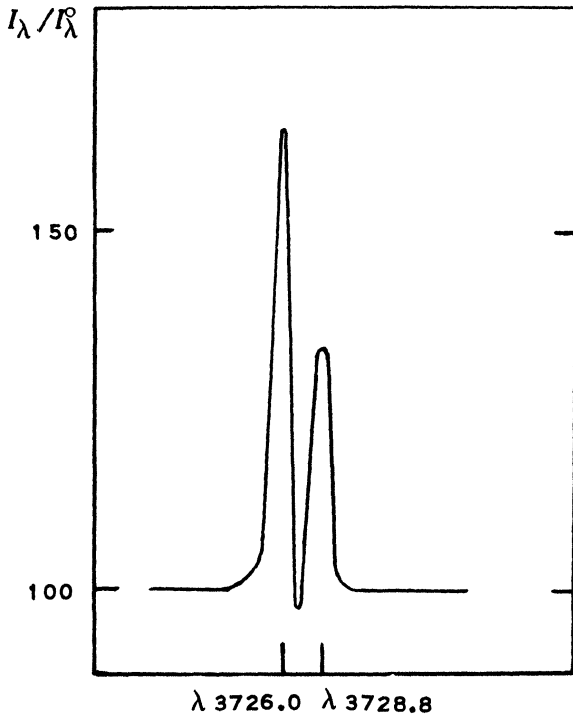


Рис. 1.

центра тяжести двойной системы VM Ori , получаем эффект Доплера $\Delta\lambda \approx 1 \text{ \AA}$ для линии $\text{H}\zeta$ вблизи фазы $0^{\text{p}}.75$. На рис. 2а, б показано, как изменится интенсивность эмиссионной линии при двух фазах (интенсивность линии при фазе $0^{\text{p}}.00$ принята за 100), причем предположено, что собственная эмиссия VM Ori составляет 10% от суммарной интенсивности линии. Отношение интенсивности линии на рис. 2а к интенсивности линии на рис. 2б составляет 1.11. В таблице 2 даны отношения интенсивностей эмиссионных линий водорода на спектрограммах № 1 к № 4, где также приведены аналогичные отношения для запрещенных эмиссионных линий туманности $[\text{Ne III}] \lambda\lambda 3978$ и 3863 \AA .

Линия	$\text{H}\delta$	$\text{H}\epsilon$	$\text{H}\zeta$	$\text{H}\eta$	H_{10}	$[\text{Ne III}] 3878$	$[\text{Ne III}] 3863$
I_1/I_4	1.10:	0.99	0.99	0.92	0.85	0.99	1.09

Усредненное отношение I_1/I_4 по линиям водорода равно 0.97 ± 0.04 (4%), а по линиям неона $[\text{Ne III}] - 1.04 \pm 0.05$ (5%). Отношение интенсивности эмиссионных линий в спектре VM Ori постоянно в пределах ошибки определения, а следовательно собственная эмиссия звезды VM Ori в линиях $\text{H}\delta - \text{H}_{10}$ менее 5% от интенсивности непрерывного спектра звезды.

3. Для того, чтобы восстановить контур линий поглощения в спектре VM Ori , необходимо вычесть эмиссионную линию туманности. Интенсивность спектра в линии I_λ складывается из интенсивности непрерывного спектра звезды $*I_\lambda^0$ туманности $**I_\lambda^0$, поглощения в линии $*I_\lambda$ и излучения в линии $**I_\lambda$, т.е.

$$I_\lambda = *I_\lambda^0 + **I_\lambda^0 - *I_\lambda + **I_\lambda. \quad (1)$$

Обозначим через I_λ^0 интенсивность непрерывного спектра, свободного от влияния линии, тогда формула (1) принимает вид:

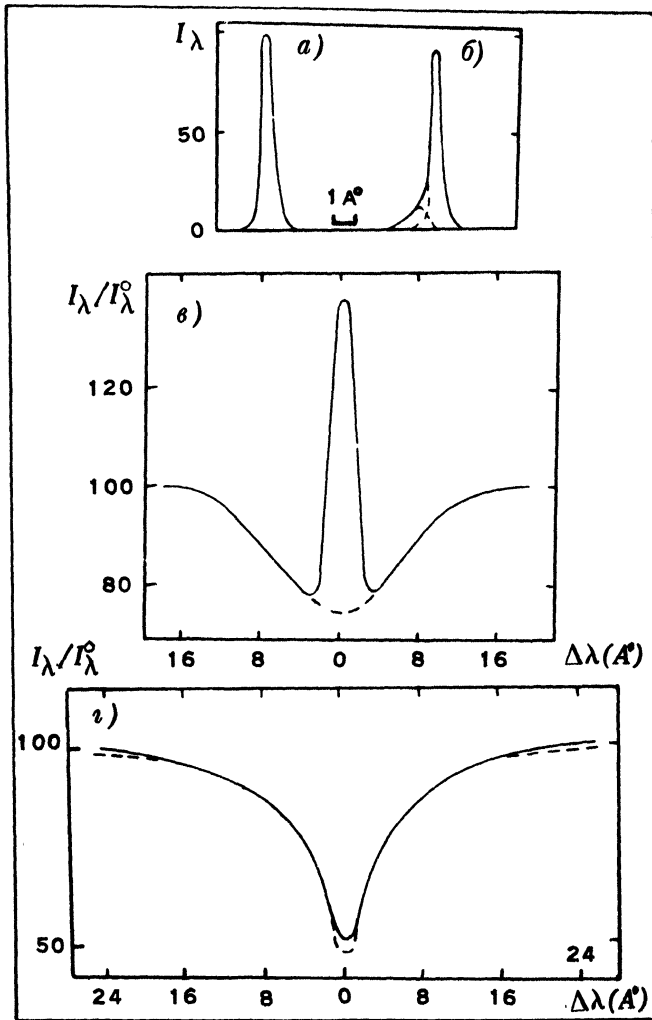
$$I_\lambda = I_\lambda^0 - *I_\lambda + **I_\lambda. \quad (2)$$

Наша задача состоит в определении интенсивности линии поглощения, равной

$$I_\lambda^0 - I_\lambda^* = I_\lambda - **I_\lambda. \quad (3)$$

Величины I_λ и I_λ^0 известны из спектра VM Ori , следовательно, необходимо

Рис. 2.



определить интенсивность эмиссионной составляющей $**I_{\lambda}$.

Для этого воспользуемся определенными Мендесом (1967) интенсивностями эмиссионных линий туманности Ориона. Область непосредственно у Трапедии не была охвачена наблюдениями, поэтому мы провели усреднение интенсивностей эмиссионных линий туманности по тем участкам, где плотность туманности на негативе приблизительно одинакова (точки 1, 2, 4, 6 и 10). Усредненные, таким образом, интенсивности эмиссионных линий туманности Ориона приведены в таблице 3, причем, интенсивность линии неона [NeIII] λ 3869 A° принята за 100.

Таблица 3.

λ (A°)	4102 (H_{δ})	3970 (H_{ϵ})	3869 (H_{ζ})
k	220	158	128

Как отмечалось выше, эмиссионные линии туманности очень узкие (полуширина около 1 \AA скорее всего обусловлена инструментальным контуром) поэтому задача восстановления контура линии поглощения сводится к определению только центральной интенсивности этих линий. Если обозначить интенсивность эмиссионной линии $[\text{NeIII}] \lambda 3869 \text{ \AA}$ через $I_{\lambda 0}$, то интенсивность линии излучения водорода $**I_{\lambda}$ равна

$$**I_{\lambda} = k I_{\lambda 0}, \quad (4)$$

где k определен из таблицы 3. Подставив выражение (4) в (3), получим окончательное выражение для интенсивности линии поглощения водорода

$$I_{\lambda}^0 - *I_{\lambda} = I_{\lambda} - k I_{\lambda 0}. \quad (5)$$

По формуле (5) были определены центральные интенсивности линий поглощения водорода и тем самым, восстановлены профили линий H_{δ} , H_{ϵ} и H_{ζ} на спектрограммах № 1 и № 4 VM Ori . На рис.2в в качестве примера показан наблюдаемый (сплошная линия) и восстановленный (прерывистая линия) профиль водородной линии H_{ζ} .

4. Спектрограмма № 1 получена в момент главного минимума VM Ori , а № 4 — вне затмения. Амплитуда изменения блеска VM Ori в В и U составляет $0^{\text{m}}70$ и $0^{\text{m}}77$ (Хэлл, Гаррисон 1969), что в отношении блеска дает 1.9 и 2.0, соответственно. Это означает, что участок спектра VM Ori , охватываемый системой В и U в момент главного минимума VM Ori , в два раза слабее по интенсивности этого же участка вне затмения. Следовательно, интенсивности одних и тех же эмиссионных линий на двух спектрограммах будут отличны. Коэффициент, характеризующий это различие, был определен по интенсивности эмиссионной линии $[\text{NeIII}] \lambda 3869 \text{ \AA}$ путем сравнения этой линии на спектрограммах № 1 и № 4 и равен 1.21. Спектрограмма № 4 была принята за основу, так как вклад эмиссионных линий в спектр VM Ori меньше, чем на спектрограмме № 1. Таким образом, спектрограмма № 1 была приведена к спектрограмме № 4 и получены профили поглощения водорода на обеих спектрограммах. По этим профилям поглощения водорода были определены эквивалентные ширины этих линий (табл. № 4). В скобках указан спектральный класс VM Ori , определенный из зависимости спектр-эквивалентная ширина, построенной Боярчуком (1957) для звезд главной последовательности.

Таблица 4.

№/№	$W_{\lambda}(\text{A}^{\circ})$		
	H_{δ}	H_{ϵ}	H_{ζ}
1	5.2(В 2.5)	4.2(В 1.5)	3.7(В 1)
4	—	4.1(В 1.5)	3.6(В 1)

Эквивалентные ширины водородных линий H_{δ} , H_{ϵ} и H_{ζ} переменной VM Ori соответствуют звезде спектрального класса В 1.5, как в главном

минимуме, так и вне затмения. Струве и Титус (1944) классифицировали EM Ori как звезду В2. Согласно Джонсону (1965) спектральный класс EM Ori В3. По определениям Хэлла и Гаррисона (1969) на двухцветной диаграмме EM Ori ведет себя как звезда спектрального класса В2–В3.

5. На рис.2г показаны профили линий поглощения H_δ звезды EM Ori и теоретический профиль (прерывистая линия) этой линии, согласно расчетам Ягера и Невена (1967) по теории Колба–Грима–Шеня для шестой модели. Лучшее согласие с наблюдаемым профилем H_δ дает теоретический профиль с $T = 16\,630^\circ\text{K}$ при $\lg g = 4$ (g – ускорение силы тяжести). Температура $T = 16\,600^\circ\text{K}$ соответствует звезде главной последовательности спектрального класса В 2.5 (Джонсон, 1964). Сравнение восстановленного контура H_δ в спектре EM Ori с теоретическим профилем показывает, что линия H_δ принадлежит только звезде с температурой, близкой к $T = 16\,600^\circ\text{K}$. Отметим, что сравнение крыльев линии H_γ в спектре EM Ori с теоретическим контуром дало хорошее согласие (Ольсон, 1975).

6. Во время главного минимума EM Ori блеск звезды становится слабее на $0^{\text{m}}57$ в V, $0^{\text{m}}70$ в В и $0^{\text{m}}77$ в U, чем вне затмения (Хэлл, Гаррисон, 1969). Эти амплитуды изменения блеска EM Ori получены в широкополосной системе UVV, поэтому интересно рассмотреть изменение блеска в главном минимуме EM Ori в монохроматических лучах. На рис.3 показано распределение интенсивности непрерывного спектра EM Ori на спектрограммах № 1 (кривая 1) и № 4 (кривая 2), причем, интенсивность непрерывного спектра около линии $\text{HeI } \lambda 4472$ принята за единицу. Вертикальными черточками на линиях 1 и 2 показана ошибка определения интенсивности непрерывного спектра EM Ori . В предположении, что во время главного

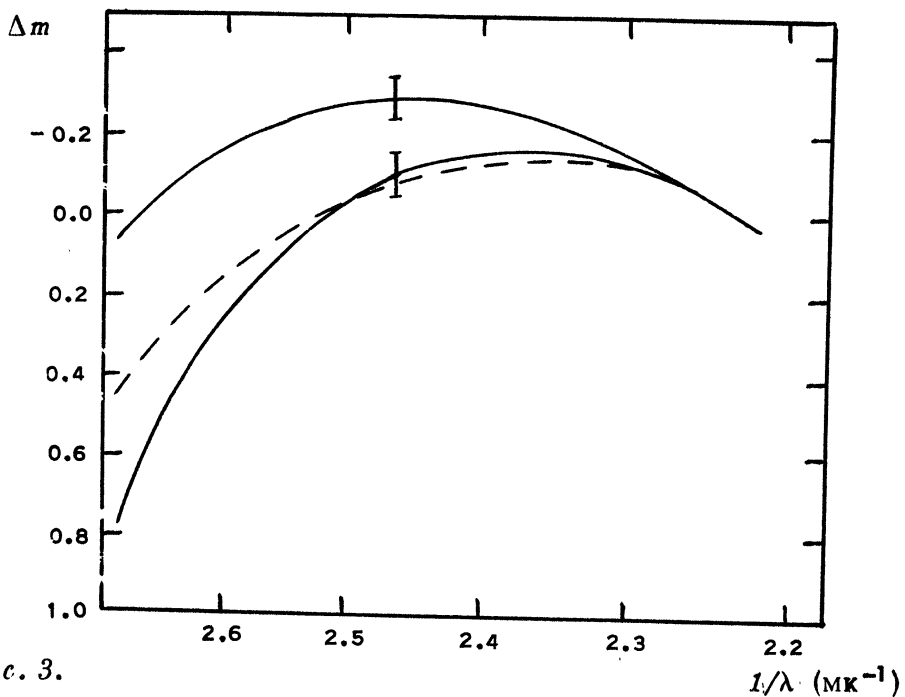


Рис. 3.

минимума VM Ori происходит поглощение света главной звезды по нормальному закону, было получено новое распределение интенсивности непрерывного спектра звезды вне затмения (прерывистая линия на рис.3). Расхождение в коротковолновой части спектра VM Ori связано с блендированием линий водорода, вследствие чего определение непрерывного спектра на спектрограммах затруднительно.

Обсуждение результатов.

На основе предварительного исследования спектра VM Ori получены следующие результаты:

а) в спектре самой звезды VM Ori не наблюдается эмиссии в линиях водорода $\text{H}_\delta - \text{H}_\zeta$, интенсивность которых более 5% интенсивности непрерывного спектра. В модели Хуанга (1974) 10% энергии излучения второго компонента происходит за счет перетекания вещества из главного компонента к спутнику, что предполагает наличие эмиссионных линий, принадлежащих оболочке горячей звезды, по крайней мере в 4 раза выше нашего предела;

б) эквивалентные ширины линий поглощения водорода и сравнение наблюдаемого контура H_δ в момент главного минимума с теоретическим показывает, что VM Ori является звездой спектрального класса $\text{B } 2.0 \pm 0.5$ и признаки спутника спектрального класса A1 в спектре отсутствуют;

в) в предположении, что в момент главного минимума VM Ori происходит поглощение света главного компонента по нормальному закону, получено хорошее согласие с наблюдаемым ослаблением интенсивности непрерывного спектра в главном минимуме.

Считая, что главная звезда VM Ori принадлежит главной последовательности, находим абсолютную визуальную величину горячей звезды, равную $-2^m.5$. При модуле расстояния $m - M = 8.1$ до Трапедии, видимая величина VM Ori вне затмения $V_0 = 5^m.6$, тогда поглощение света составляет $A_V = 2.5$. VM Ori имеет $B-V = +0^m.24$ (Хэлл, Гаррисон 1969), нормальный показатель цвета звезды B2 равен $(B-V)_0 = -0^m.26$, что дает избыток цвета $E_{B-V} = 0^m.5$. Отсюда, величина $A_V/E_{B-V} = 5$, что находится в хорошем согласии с данными Хэлла и Гаррисона (1969). По Мендесу (1967) $R = 4.9$.

Таким образом, нет необходимости считать светимость B -компонента заниженной (Хэлл, Гаррисон 1969) — это может быть нормальная звезда со светимостью, близкой к светимости звезды главной последовательности данного спектрального класса. В таком случае, мы должны прийти к выводу об очень низкой светимости второго компонента, который имеет вдвое больший радиус, чем главный компонент.

Рассмотрев все имеющиеся в нашем распоряжении материалы, в том числе опубликованные результаты по наблюдениям поляризации VM Ori (Шевченко, Кардополов, 1971), мы считаем возможным предложить новую гипотезу спутника VM Ori — спутник VM Ori представляет собой звезду очень низкой светимости и малой массы ($< 0.3 M_\odot$), возможно типа Т Тельца, окруженную протяженной холодной пылевой оболочкой, которая является частично прозрачной для излучения звезды B2V в период затмения. Кривая блеска Хэлла и Гаррисона не противоречит такой гипотезе, если ввести некоторые предположения о распределении плот-

ности в оболочке второго компонента.

Весь комплекс наблюдательных данных (в том числе и неопубликованных, имеющих в нашем распоряжении) явно недостаточен для интерпретации этой уникальной затменной переменной.

Учитывая важность раскрытия природы системы **BM Ori**, как экстремально молодого образования, мы считаем, что необходимы новые ряды фотоэлектрических (UBVRI), инфракрасных (> 1.2 мкм), электрополяриметрических и спектральных наблюдений с высокой дисперсией, и особенно в области спектра 0.7–1.2 мкм.

Литература:

- Боярчук А.А., 1957, Изв.КрАО, XXII, 89.
 Вильсон, 1971 – Wilson R.E., ApJ 170, 529.
 Вильсон, 1972 – Wilson R.E., Aph. and Space Sci., 19, 165.
 Джонсон, 1964 – Johnson H.L., ТТВ 3, 305.
 Джонсон, 1965 – Johnson H.L., ApJ 142, 964.
 Доремус, 1970 – Doremus C., PASP 82, 745.
 Мендес, 1967 – Mendez M.E., ТТВ 4, 91.
 Ольсон, 1975 – Olson E.D., ApJ Suppl. Ser. 29, 43.
 Паренаго П.П., 1948, ПЗ 6, № 4, 217.
 Струве, Титус, 1944 – Struve O., Titus J., ApJ 99, 84.
 Хуанг, 1974 – Huang S.S., ApJ 195, No 1, part 1, 127.
 Хэлл, Гаррисон, 1969 – Hall D.S., Garrison L.M., PASP 81, 771.
 Хэлл, 1971 – Hall D.S., IAU Colloquium No 15, 217.
 Шевченко В.С., Кардополов В.И., 1971, ПЗ 18, № 2, 131.
 Ягер, Невен, 1967 – Jager C.de, Neven L., BAN Sup. Ser., 2, No 4, 125.

Астрономический институт
АН УзССР.

*Поступила в редакцию
16 декабря 1975 г.*