

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ
ДВОИНОЙ СИСТЕМЫ SU БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ И НЕКОТОРЫЕ
СВОЙСТВА ЗВЕЗД ЭТОЙ ГРУППЫ

Н. Ф. Вейханская, И. И. Назаренко,
Г. В. Решетникова*

Приводятся результаты спектральных наблюдений SU UMa зимой 1985 года. Обнаружены изменения эквивалентных ширин и лучевых скоростей с периодом $1^h 50^m$, причем они изменяются в противофазе. Показано, что эквивалентные ширины чаще меняются случайным образом, в то время как лучевые скорости меняются периодически. Амплитуды, γ -скорости и даже периоды, определенные по кривым лучевых скоростей, переменны во времени. В рамках стандартной модели результаты наблюдений объяснить не удастся. Отмечается некоторое сходство звезд типа SU UMa с новоподобными системами. Рассмотрены общие свойства группы звезд типа SU UMa.

The results of spectral observations of SU UMa obtained in winter 1985 are presented. Variations of equivalent widths and radial velocities with a period $1^h 50^m$ are detected. Equivalent widths and radial velocities vary in antiphase. It is shown that equivalent widths vary often spontaneously, while the radial velocities vary periodically, but the amplitudes, γ -velocities, and even periods of radial velocity curves vary with time. In the framework of standard model the observational results cannot be explained. Some similarity of SU UMa type stars with nova-like systems is noted. General properties of the star group of SU UMa type are considered.

I. ВВЕДЕНИЕ

SU UMa является прототипом одноименной группы карликовых новых звезд. Признаки, по которым система может быть отнесена к данной группе, несколько расплывчаты. Можно, однако, указать наиболее характерные свойства звезд типа SU UMa: бимодальное распределение вспышек по длительности и блеску, появление во время продолжительных вспышек почти когерентных колебаний блеска (сверхгорбов), короткие орбитальные периоды ($\leq 2^h$), существование прямой корреляции между продолжительностью орбитального периода и некоторыми характеристиками вспышек. Не все перечисленные признаки обязательно имеются у каждой системы этой группы. Например, у самой SU UMa не найдено пока сверхгорбов, а бимодаль-

* Всесоюзный научно-исследовательский институт телевидения

распределение вспышек характерно также для некоторых карликовых новых систем других типов.

Долговременная кривая блеска SU UMa характеризуется присутствием двух типов вспышек: обычных и сверхвспышек, т.е. вспышек большей амплитуды и продолжительности. Обычные вспышки или максимумы появляются 2–3 раза в месяц, а сверхвспышки или сверхмаксимумы – 2 раза в год. Средняя продолжительность обычных вспышек 2–3 дня, а сверхвспышек около двух недель. Средний блеск в максимуме обычной вспышки составляет 12.5^m , а сверхвспышки на $1^m - 2^m$ ярче. В промежутках между вспышками средний блеск системы $14^m - 14.5^m$ непостоянен. Амплитуда флуктуаций блеска доходит до 0.4^m . Периодические изменения блеска в состоянии минимума (вне вспышек), согласно Мамфорду (1966), отсутствуют. Однако, они были обнаружены во время одного из сетов наблюдений Барвига и Шембса (1981), проведенных непосредственно перед началом сверхвспышки.

Эмиссионный линейчатый спектр описан в работах Шкоди (1981), Буренкова и Войханской (1979), Торстенсена и др. (1986), и Войханской и Назаренко (1985). Он типичен для катаклизмических переменных, но по сравнению с обычными карликовыми новыми усилена линия $\text{HeII } \lambda 4686 \text{ \AA}$.

От SU UMa зарегистрирован поток мягкого рентгеновского излучения в диапазонах 0.18–2.8 кэВ (Кардова и др., 1981) и 0.1–4.5 кэВ (Кардова и Масон, 1980). Вокруг системы было обнаружено X-гало радиусом ~ 14 угловых минут, на основе чего высказывается предположение, что SU UMa в прошлом испытала вспышку, подобную вспышкам классических новых (Кардова и Масон, 1980; Боде и др., 1981).

2. НАБЛЮДЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Наблюдения проводились в течение 4.5 часов в ночь с 1 на 2 января 1985 года. Использовался спектрограф UAGS, установленный в первичном фокусе 6-м телескопа и оснащенный двухкамерным ЭОП типа УМК91в. Спектры регистрировались на пленку Kodak IIaO, которая прижималась к волоконной шайбе на выходе ЭОП. Было получено 22 спектра с разрешением 2 \AA . Обработка спектрограмм проводилась на фотометрическом комплексе САО АН СССР по программам, описанным Назаренко и Шергиным (1985), Войханской и Назаренко (1990). К сожалению, из-за особенностей оптики спектрографа регистрировался небольшой участок спектра, $\sim 600 \text{ \AA}$, из которого можно было использовать лишь около половины. Поэтому основные результаты получены только по линии H_β .

Результаты измерения эквивалентных ширин показаны на рис. 1а. Из рисунка видно, что в изменении эквивалентных ширин со временем заметна явная периодичность, чего ранее никогда не наблюдалось. Результаты измерения лучевых скоростей представлены на рис. 1б. Как видно, в течение наблюдений лучевые скорости изменялись достаточно регулярно. Это позволило использовать результаты изменения лучевых скоростей для поиска периода системы. Применялся метод Диминга, основанный на Фурье-анализе. На рис. 2 показан спектр мощности. Величина периода изменения лучевых скоростей определялась по максимуму спектра мощности: $1^h 50.2^m (0.076528^d)$. Полученный нами период в пределах ошибок не отличается от величины, определенной Торстенсеном и др. (1986): $1^h 49.9^m (0.076351^d)$.

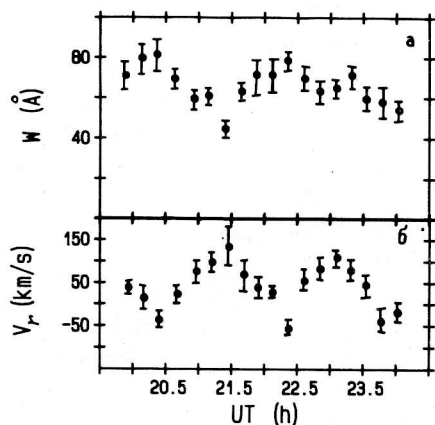


Рис. 1. Наблюдаемое изменение эквивалентных ширин (а) и лучевых скоростей (б) со временем.

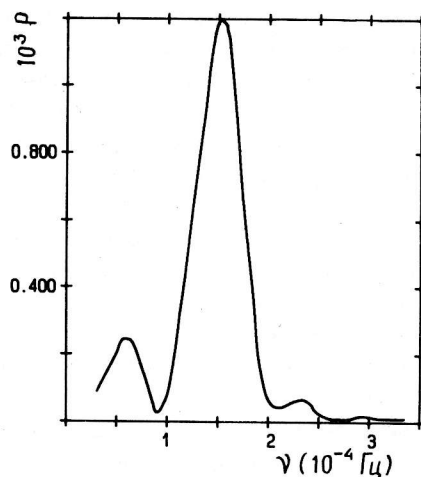
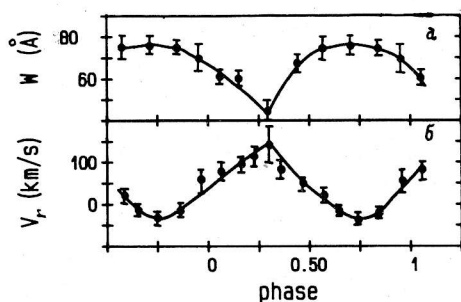


Рис. 2. Спектр мощности, вычисленный по результатам измерения лучевых скоростей.

На рис.3 показаны изменения лучевых скоростей и эквивалентных ширин с фазой орбитального периода, свернутые с полученным периодом. При этом близкие по фазе величины усреднялись. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что эквивалентные величины W и лучевые скорости V_r изменяются в противофазе. К сожалению, в литературе практически не публикуются аналогичные данные, поэтому трудно сказать, типично ли подобное поведение для карликовых новых. Лишь в работе Стовера (1981) есть указание на похожее изменение эквивалентных ширин и лучевых скоростей в спокойном состоянии U Gem, однако, они происходят не строго в противофазе.

Фазировка кривой лучевых скоростей на рис. 3 такая же, как в работе Торстенсен и др. (1986). Однако, если использовать период из работы Торстенсена и др. (1986), то кривая сместится на 0.3P влево, т.е. максимум скорости будет на фазе 0.0P. Пока трудно ответить на вопрос о реальности этого сдвига кривой лучевых скоростей. Возможно, что дело в незнании точной величины периода системы.

Рис. 3. Изменение эквивалентных ширин (а) и лучевых скоростей (б) с фазой орбитального периода.



Результаты спектральных исследований SU UMa описаны в работах Торстенсена и др. (1986), Войханской и Назаренко (1985). В работе Войханской и Назаренко (1985) на основании трех сетов наблюдений, проведенных в разные годы, отмечено, что изменение эквивалентных ширин со временем происходит случайным образом, а средняя величина \bar{W} меняется. Например, величина W линии H_{β} меняется в два раза, от 60 до 120 Å. В работе Торстенсена и др. (1986) не приводятся сведения об изменении эквивалентных величин с фазой, а $W = 72 \pm 7$ Å для линии H_{β} в феврале 1981 г.

Используя периоды, полученные в настоящей работе и в работе Торстенсена и др. (1986), были сосчитаны фазы для моментов наблюдений (Войханская и Назаренко, 1985). Результаты не изменились: эквивалентные ширины линий менялись случайным образом. Таким образом, можно сделать вывод, что характер изменения эквивалентных ширин линий в спектре SU UMa может быть как случайным, так и периодическим, а величины \bar{W} переменны во времени. Значительная переменность эквивалентных ширин, как следует из табл.1, отражает реальные изменения интенсивностей эмиссионных линий.

Результаты измерения лучевых скоростей оказались весьма противоречивыми. В работе Войханской и Назаренко (1985) получено сразу два периода: $P \geq 3^h$ и $P < 2^h$. В настоящей работе и в работе Торстенсена и др. (1986) получена величина $P = 1^h 50^m$. Барвиг и Шембс (1981) отметили изменения блеска с периодом 2^h . Если вычислить фазы для моментов наблюдений Войханской и Назаренко (1985), используя период и эфемериды, полученные в настоящей работе и в работе Торстенсена и др., (1986), то периодичность в изменении лучевых скоростей исчезает и они изменяются случайным образом. Это значит, что не все наблюдаемые периоды являются орбитальными. Известно, что у многих новоподобных и некоторых карликовых новых наблюдаются так называемые S-волновые компоненты линий. Период, определяемый по ним, как правило, отличается от орбитального. Происхождение S-волновых компонент связано с наличием в системе газовых потоков, как внешних, так и внутреннего. То обстоятельство, что наблюдался большой период $P \geq 3^h$ (Войханская, Назаренко, 1985), указывает на существование внешних потоков, т.е. потоков, истекающих из внешних точек Лагранжа L_2 и L_3 . Следует отметить, однако, три обстоятельства. Во-первых, о существовании S-волновых компонент линий у звезд типа SU UMa пока ничего не известно. Во-вторых, разные периоды были получены по самим линиям, а не по слабым S-компонентам. В-третьих, попытка разделить линии на основание и остальную часть не дала значимых результатов ни в настоящей работе, ни в работе Торстенсена и др. (1986). Все это указывает на более сложную структуру излучающей области, чем простой диск и газовые потоки. Отметим, что существование разных периодов характерно для новоподобных систем.

В табл. 1 для SU UMa собраны сведения о кривых лучевых скоростей (полуамплитуды K и γ -скорости), оценках периода и величинах W линии H_{β} . Ошибки в определении лучевой скорости составляют $7-15$ км·с⁻¹, а эквивалентных величин — не превышают 10 %. Из этой таблицы видно, что полуамплитуда кривых лучевой скорости и величина γ -скорости меняются со временем. Подобная переменность не наблюдается у карликовых новых, но характерна для новоподобных, хотя в более сильной степени. Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод о некотором сходстве SU UMa с новоподобными системами.

Таблица 1:

Дата наблюдений	V	K км/с	γ км/с	P	W(H β) Å	источник
01,04.1977	min				60	3
01,02.1978	min				20	3
12.1979	13.5 ^m	100	0	3 ^h 05 ^m	60	5
03.1980	14.5			2		I
01.1981	14	50	0	2:	120	5
02,12.1981	min	63	30	1 50	63	I6
10.1982	min				76	I4
01.1983	14.5	70	220	3:	105	5
01.1985	min	90	45	1 50	67	*
03.1985	13.5	53	27	1 50		I6

* - настоящая работа

Выше говорилось о том, что изменения эквивалентных ширин и лучевых скоростей происходят в противофазе, т.е. во время максимума V_r наблюдается минимум W , и наоборот. Система SU UMa наблюдается под малым углом, на что указывает отсутствие затмения на кривой блеска. Если считать, как это обычно принято, что линии возникают в аккреционном диске, то тогда можно сделать вывод, что диск неоднороден по своей структуре. В рамках стандартной модели, в которой изменение интенсивностей линий обусловлено изменением видимости горячего пятна, объяснить наблюдаемое изменение эквивалентных ширин в противофазе с лучевыми скоростями не удастся.

Имеющиеся спектральные данные указывают на то, что регулярное изменение эквивалентных ширин в течение периода наблюдается редко. Чаще эквивалентные ширины изменяются хаотически. Средняя величина \bar{W} различалась в разных сетях (табл.1). Наоборот, лучевая скорость во всех случаях изменялась регулярно, но периоды были разные. Кроме того, в работе Войханской и Назаренко (1985) отмечены кратковременные скачки скорости, что указывает на возникновение в системе SU UMa конусной аккреции, для чего необходим достаточно мощный звездный ветер от вторичного компонента. Выше отмечалось некоторое сходство SU UMa и новоподобных систем. Конусная аккреция наблюдалась у новоподобной TT Aг1 во время понижения блеска (Войханская и Гнедин, 1982), что усиливает сходство. Можно предположить поэтому, что в SU UMa, как в новоподобных системах, имеется значительное количество светящегося вещества за пределами внутренней полости Роша. Оно может появиться вследствие истечения через внешние точки Лагранжа L_2 и L_3 и выброса из области полюса белого карлика. Если количество вещества за пределами внутренней полости Роша достаточно велико, то излучаемые им эмиссионные линии будут сравнимы по интенсивности с линиями диска. Это объясняет большую переменность интенсивностей линий в разных наблюдениях. Переменность периода изменения лучевых скоростей может быть связана с собственным движением вещества, находящегося вне внутренней полости Роша. По-видимому, полученный в настоящей работе и в работе Торстенсена и др. (1986) период $1^h 50^m$ ближе всего к истинному орбитальному периоду.

Во-первых, потому что это наиболее короткий из известных периодов, во-вторых, у всех систем типа SU UMa периоды короче двух часов.

3. СВОЙСТВА ЗВЕЗД ТИПА SU БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ

Звезды типа SU UMa относятся к катаклизмическим переменным и являются разновидностью карликовых новых. Они представляют собой тесные двойные системы, главным компонентом которых является белый карлик, а вторичным — красный карлик, заполняющий свою внутреннюю полость Роша и поэтому теряющий вещество. Звезды типа SU UMa имеют ряд общих свойств, по которым их выделяют в отдельную группу.

1. Существование двух различных типов вспышек: обычные вспышки или максимумы, и сверхвспышки или сверхмаксимумы. Оба типа вспышек появляются квазипериодически и различаются частотой появления, продолжительностью и амплитудой изменения блеска. В работе Парадийса (1983) были получены эмпирические соотношения между продолжительностью вспышек T_N , сверхвспышек T_S и орбитальным периодом P системы:

$$T_N = 1.2 + 28.6 P, \quad (1)$$

$$T_S = 9.8 + 15.3 P.$$

Из (1) видно, что чем меньше P , тем больше разница между продолжительностью вспышек и сверхвспышек.

2. Изменение интервалов времени между сверхвспышками. Интервал времени между соседними сверхвспышками (квазипериод) меняется по линейному закону в течение 3–30 циклов. Затем величина квазипериода случайно переключается на другое значение, которое тоже меняется по линейному закону. У каждой звезды существует две–три характерные для нее величины квазипериода (Маттей, 1982).

3. Наличие сверхгорбов является отличительной особенностью звезд типа SU UMa. Сверхгорбы представляют собой когерентные колебания блеска, которые наблюдаются только во время сверхвспышек через несколько дней после их начала. Удивительной особенностью сверхгорбов является постоянство их амплитуды 0.2^m – 0.3^m , и то, что их появление и свойства не зависят ни от каких особенностей системы: блеска, угла наклона и пр. Они наблюдаются как в затменных, так и в незатменных системах. Период сверхгорбов на несколько процентов (2–5 %) отличается от орбитального периода P : может быть как больше, так и меньше P . Когда сверхвспышка угасает, разница периодов орбитального и определенного по сверхгорбам уменьшается и в дальнейшем, по-видимому, они сравниваются.

4. Ультракороткие орбитальные периоды. Обычно $P < 2^h$. Исключение составляют две системы YZ Cnc и TU Men, у которых период больше двух часов и которые попадают в известный провал периодов $2^h < P < 3^h$. Число звезд типа SU UMa постоянно увеличивается по мере изучения катаклизмических переменных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барвиг и Шембс (Barwig H., Schoembs R.): 1981, Commis. 27 IAU Inform. Bull. Variable Stars, No. 1989.
2. Бодэ и др. (Bode M.F., Evans A., Bruch A.): 1981, Proc. Colloq. IAU, No. 69, eds.: Kopal Z. and Rahe J., Dordrecht: Reidel D., P.475.
3. Буренков А.Н., Войханская Н.Ф.: 1979, Письма в астроном.ж., 5, С.452-455.
4. Войханская Н.Ф., Гнедин Ю.Н.: 1982, Письма в астроном.ж., 8, С.729-733.
5. Войханская Н.Ф., Назаренко И.И.: 1985, Астроном.ж., 62, С.81-86.
6. Войханская Н. Ф., Назаренко И. И.: 1990, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 30 (в печати).
7. Кардова и Мэсон (Cordova F.A., Mason K.O.): 1980, Nature, 287, P.25-27.
8. Кардова и др. (Cordova F. A., Jensen K. A., Nugent J. J.): 1981, Mon. Not. R. Astron. Soc., 196, P. 3-12.
9. Маттей (Mattei J. A.): 1982, J. American. Assoc. Var. Star Observ., 11, P.82-83.
10. Мамфорд (Mumford G.S.): 1966, Astrophys. J., 146, P.411-417.
11. Назаренко И. И., Шергин В. С.: 1985, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 19, С.109-114.
12. Парадиjs (Van Paradijs J.): 1983, Astron. and Astrophys., 125, P.L16-L18.
13. Стовер (Stover R.J.): 1981, Astrophys J., 248, P.684-695.
14. Шкоди (Szkody P.): 1967, Astrophys J. Suppl. Ser., 63, P.685-700.
15. Шкоди (Szkody P.): 1981, Astrophys. J., 247, P.577-589.
16. Торстенсен и др. (Thorstensen J.R., Wade R.A., Oke J.B.): 1986, Astrophys. J., 309, P.721-731.

Поступила в редакцию
29 января 1990 г.