

Спектрофотометрическое исследование звезды DI Цефея Н.З.Исмаилов

Приводятся результаты однородных спектральных наблюдений звезды типа Т Тельца DI Cep в трех сезонах в 1974–85 г. Исследовано временное изменение линейчатого спектра, спектрофотометрической температуры и спектрального класса звезды. По характеру переменности установлено, что существует активное и спокойное состояние излучения в эмиссионных линиях, которое может меняться как медленно, так и быстро в течение экспозиции (1,5 часа). Анализируется каждое из этих состояний по линейчатому спектру. Предполагаемая причина переменности — нерегулярные активные области в атмосфере звезды.

The Spectrophotometric Investigation of DI Cephei by N.Z. Ismailov

The results of homogeneous spectral observations of T Tau type star DI Cep during three seasons in 1974–1985 are given in this paper. The time variability of emission and absorption line spectrum, the spectrophotometric temperature and the spectral type were under investigation. Active and quiet states in the emission line radiation were found, the transition from one to another may be slow and fast, sometimes during the exposure time of 1.5. Each of these states has been analysed and described. The active regions in the stellar atmosphere are supposed to be a cause of this variability.

ВВЕДЕНИЕ.

В работах Джоя (1949), Бродской (1951), Кухи (1974) у звезды DI Cep обнаружен ряд особенностей, присущих звездам типа Т Тельца. Далее, Петров (1972) по наблюдениям в фотометрической системе, свободной от влияния эмиссионных линий отмечает быстрые колебания блеска с амплитудой $0^m.8$ как в ультрафиолетовой (УФ) так и в инфракрасной областях спектра. В работах Кохена и др. (1976), Гаама и др. (1978) не обнаружена существенная спектральная и фотометрическая переменность звезды в интервале длин волн λ 0.3–10 мкм.

В работе Гринина и др. (1980) на фоне медленного изменения выявлено наличие быстрых флуктуаций блеска с продолжительностью в несколько дней с амплитудами $0^m.22$ в V-, $0^m.30$ в B- и $0^m.52$ в U-фильтрах. Отождествлены линии [OI] λ 6300 и 6336 Å, заподозрено наличие линий λ 4076, 4068 [SII], а также λ 4359, 4452 Å [FeII]. Краснобабцев (1982) предполагает наличие у DI Cep псевдопериода 16^d и объясняет переменность звезды наличием активных образований на поверхности звезды.

В работе Мундта и др. (1979) обнаружено сильное изменение линии $H\alpha$ в течение нескольких часов.

В работе Исмаилова и др. (1985) исследован непрерывный спектр DI Ser в интервале длин волн λ 5100–3660 Å.

НАБЛЮДЕНИЯ.

Звезда DI Ser наблюдалась в фокусе Кассегрена 2-м телескопа ШАО АН Азерб.ССР с помощью 2×2 призмного спектрографа с обратной дисперсией 94 Å/мм у Пу. Спектры расширены до 0.2 мм. Спектральный диапазон охватывает область λ 5100–3660 Å.

Стандартные звезды, взятые из работы Гаама и др. (1978), сняты в каждой серии наблюдений между спектрами исследуемой звезды. Спектры обработаны по стандартной методике. Всего получено 22 спектрограммы по наблюдениям 1984 г.

В этот материал включены: 2 спектра, снятые в 1975 г. Салмановым И.Р. и 7 спектров, снятых в 1978 г. Тимошенко Л.В. Все спектрограммы записаны в почернениях на саморегистрирующем микрофотометре "Лирефо" с увеличением 37.5 раза. Данные наблюдений приведены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ.

По всем спектрограммам измерены эквивалентные ширины и лучевые скорости наиболее интенсивных линий. В табл. 2 показаны значения эквивалентных ширин, а в табл. 3 лучевые скорости линий. Лучевые скорости измерены на компараторе "ИЗА-2" и приведены к Солнцу. Точность измерений эквивалентных ширин по данному участку спектра в среднем составляет 20%, средняя ошибка в лучевых скоростях 10–25 км/сек. Черточки в таблицах 2 и 3 указывают либо на отсутствие, либо на невозможность соответствующих измерений для данной линии.

По относительному распределению энергии для каждого спектра определена спектрофотометрическая температура T_s , которая приведена в усредненном виде для каждой ночи в табл. 4, где n – количество использованных спектрограмм за ночь.

Определен спектральный класс звезды по разработанной Рустамовым (1985) методике для двумерной спектральной классификации с нашей аппаратурой. Усредненные спектральные классы каждой ночи также приведены в табл. 4. Подробно остановимся на некоторых особенностях спектра.

Линейчатый спектр.

Наиболее интенсивными эмиссионными линиями у DI Ser в диапазоне λ 5100–3660 Å, являются линии водорода $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ и линии H и K CaII . Наблюдаются в эмиссии также линии FeII , FeI , в том числе флуоресцентные λ 4063, 4132 Å, в которых имеется очень слабая и неустойчивая эмиссия, интенсивность которой в несколько раз меньше чем у ионизованных элементов. На рис. 1 показано несколько регистрограмм спектров, снятых в разных сезонах. Как следует из табл. 2, интенсивно-

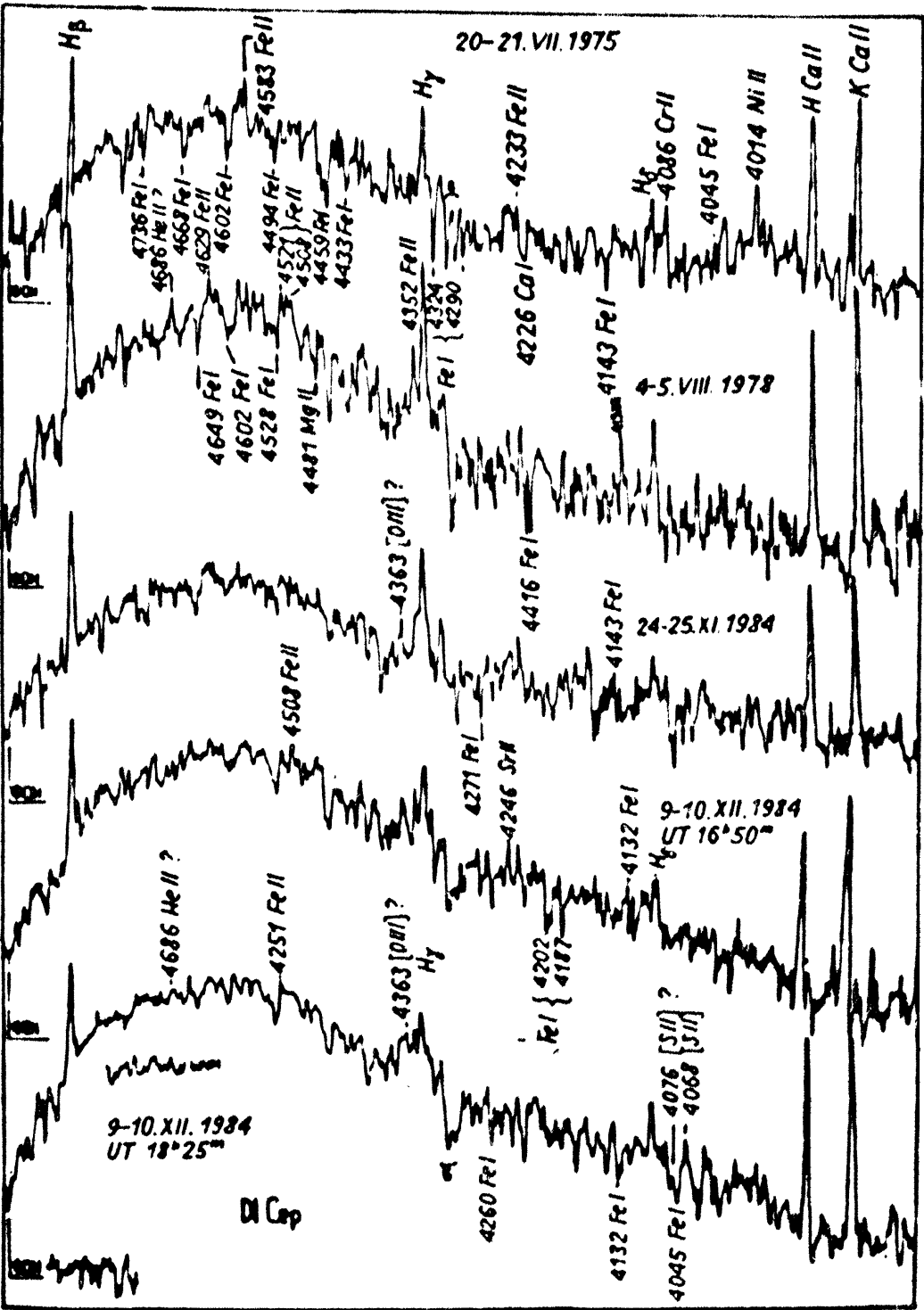


Рис.1. Регистрограммы спектра DI Сер в разных сезонах (приводятся в почернениях).

сти эмиссионных линий претерпевают изменение как в отдельных сезонах, так и за время экспозиции. Спектры за 9–10.XII–1984 г., снятые друг за другом через 1,5 часа, показывают, что на первой spectroграмме расщеплены все водородные линии и линии K CaII. Но во втором спектре эти компоненты не наблюдаются. На первом спектре хорошо видны глубокие линии поглощения λ 4202, 4187 Å FeI, но на втором эти линии не видны. При раздвоении водородных линий лучевая скорость по смещению фиолетового компонента составляет –250, –300 км/сек. По этим spectroграммам можно заподозрить наличие линий λ 4069, 4076 Å [SiII].

Более уверенно выделяется линия λ 4363 Å [OIII], которая обнаруживается почти в каждом спектре (рис.1).

В спектре за 4–5.VIII.1978 г. (см. рис.1), вероятно, наблюдается линия λ 4686 Å HeII, присутствие которой можно заподозрить и на некоторых других spectroграммах. В этом спектре также хорошо видно усиление линий λ 4521, 4508 Å FeII, линий водорода и H, K CaII, у которых увеличены интенсивности в два и более раза.

Таким образом, эмиссионный спектр является переменным. Эта переменность выражается в интенсивностях, структуре и лучевых скоростях линий. Можно выделить активное и спокойное состояние эмиссионного спектра. В активном состоянии увеличиваются интенсивности эмиссионных линий, усиливаются линии ионизованных элементов, возрастает степень возбуждения эмиссионного спектра. Появляются эмиссионные пики, которые накладываются на линии поглощения.

При спокойном состоянии эмиссионного спектра уменьшается интенсивность эмиссионных линий, исчезают эмиссии ионизованных и нейтральных элементов, а спектр поглощения обозначается четко.

Кроме того, отдельные линии и в поглощении, и в эмиссии иногда аномально увеличивают интенсивность. Независимо от состояния эмиссионного спектра, временами увеличиваются интенсивности таких линий как Ni II λ 4014 Å, Cr II λ 4086 Å, FeII λ 4924 Å и др. (см. рис.1) в эмиссии, а также увеличивается глубина некоторых линий поглощения. Этот процесс происходит быстро, и может исчезнуть в течение одной экспозиции.

На рис.2 для каждого спектра показана зависимость эквивалентных ширин линий K CaII и H β , H γ , λ 4233 Å FeIIe. Знаки e и a соответствуют эмиссионным и абсорбционным компонентам линий. Как видно, существует прямая корреляция между эквивалентными ширинами линий K CaII и H β , H γ , однако чем больше значение эквивалентных ширин, тем слабее становится корреляция у этих линий. Не обнаруживается корреляция между линиями K CaII и FeII e λ 4233 Å.

На рис.3 показана связь между эквивалентными ширинами некоторых линий с уровнем непрерывного спектра I_{gI_0} у линии. Прямая корреляция наблюдается для H γ и λ 4481 Å MgII, которая находится в поглощении. А для остальных линий не обнаружена подобная корреляция.

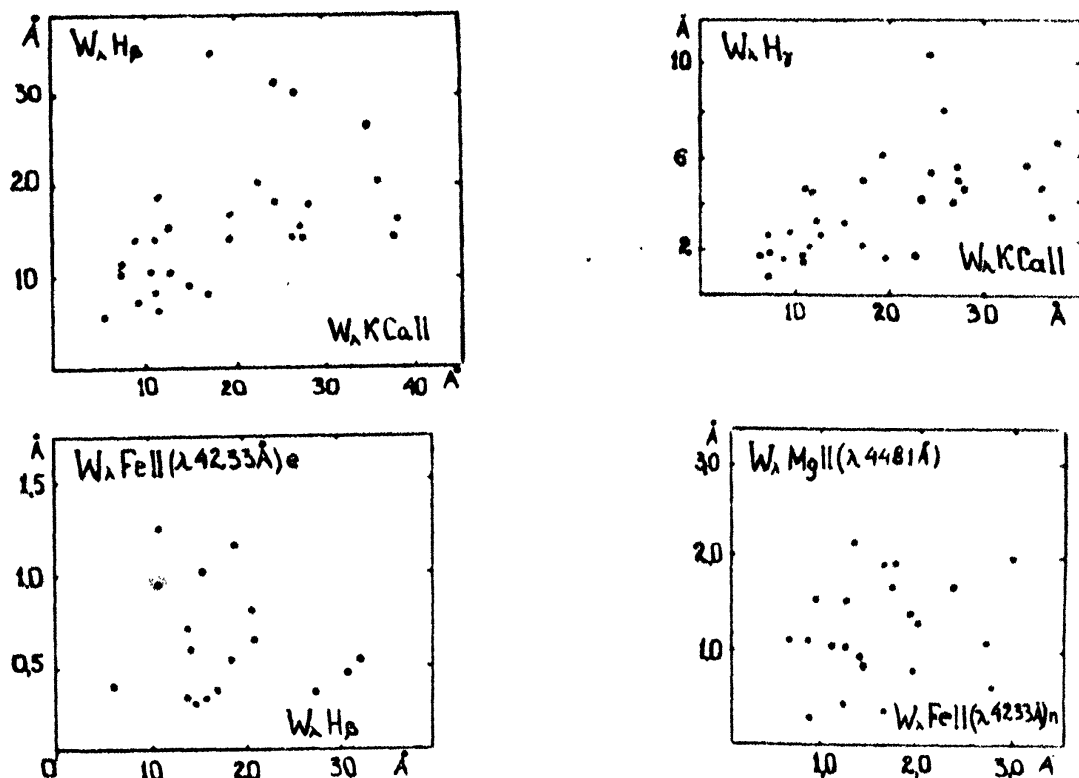


Рис.2. Зависимость эквивалентных ширин разных линий у D1 Сер. Хорошо заметна прямая корреляция между линиями K Ca II и Hβ, Hγ.

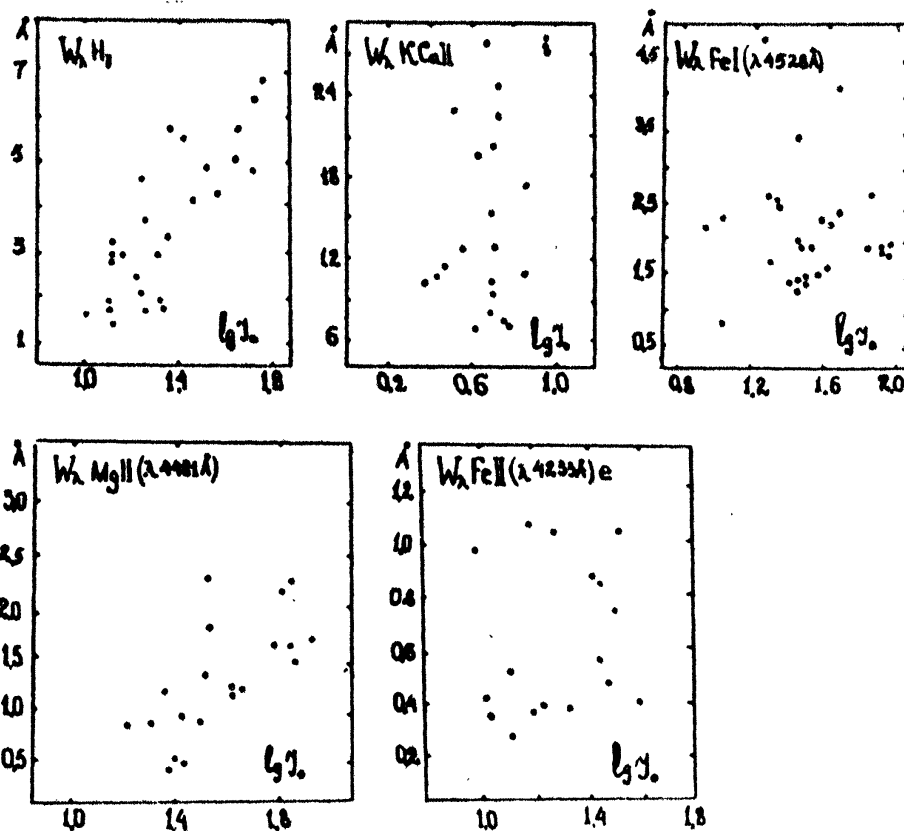


Рис.3. Зависимость эквивалентных ширин разных линий от интенсивности непрерывного спектра у D1 Сер. Корреляция заметна только у Hγ и слабее у λ 4481 Å Mg II.

Лучевые скорости для водородных линий у DI Сер наблюдаются с большей вероятностью так, что с повышением квантового номера линии их значение переходит от положительных к отрицательным (табл. 3).

В поглощении наиболее заметны линии λ 4528, 4459, 4383, 4324 Å и другие линии нейтрального железа, линии λ 4226 Å Ca I, λ 4481 Å Mg II. Такие линии как λ 4083, 4132, 4143, 4045 Å Fe I при разных состояниях активности эмиссионного спектра наблюдаются либо в поглощении, либо в слабой эмиссии, а иногда замываются (рис.1). Линии поглощения имеют в среднем отрицательную лучевую скорость (табл. 3).

Спектрофотометрическая температура и спектральный класс DI Сер.

Нами измерены относительные распределения энергии у DI Сер по всем 16 ночам наблюдений. Обнаружено влияние на непрерывный спектр УФ избыточного излучения. Как видно из таблицы 4, спектрофотометрическая температура меняется от 4200 до 5800°K в течении всех наблюдательных сезонов.

Для определения спектрального класса в качестве критериев использованы эквивалентные ширины линий λ 4383, 4324, 4291, 4271 Å Fe I и λ 4226 Å Ca I. Точность этой методики составляет 0,6 подкласса для спектрального класса. Неуверенно определен спектральный класс звезды в JD 2445957 и JD 2445984 (значения от F2 до G8) из-за того, что, во-первых, снята всего одна спектрограмма в эти ночи, во-вторых, применены в первой дате 3 критерия, а во второй дате всего один критерий. Если исключить такие большие отклонения, можно принять, что спектральный класс DI Сер меняется между F8 + G8 (см. табл. 4).

На рис.4 сверху показано временное изменение эквивалентных ширин некоторых линий, снизу спектрофотометрической температуры и спектрального класса звезды. Каждая точка относится к среднему значению соответствующих параметров для каждой ночи. Кроме других вышеуказанных особенностей в графике хорошо видна обратная корреляция между спектрофотометрической температурой и спектральным классом. Цифры под точками в нижнем графике указывают количество применяемых критериев при определении спектрального класса. Если цифра над точками отсутствует, это означает, что применены все пять критериев.

Критерии, подобранные для определения класса светимости, невозможно применить к звезде DI Сер из-за неуверенного наблюдения линий λ 4078 Å Sr II и λ 4216 Å. Однако слабость данных линий видимо означает, что звезда DI Сер является карликом.

ВЫВОДЫ.

У звезды DI Сер наблюдается переменность как медленного, так и быстрого типа с характерным временем порядка времени экспозиции.

Можно выделить активное и спокойное состояние эмиссионного спектра. Возможно, переменность линий поглощения обусловлена переменностью эмиссионных компонент, наложенных на линию поглощения.

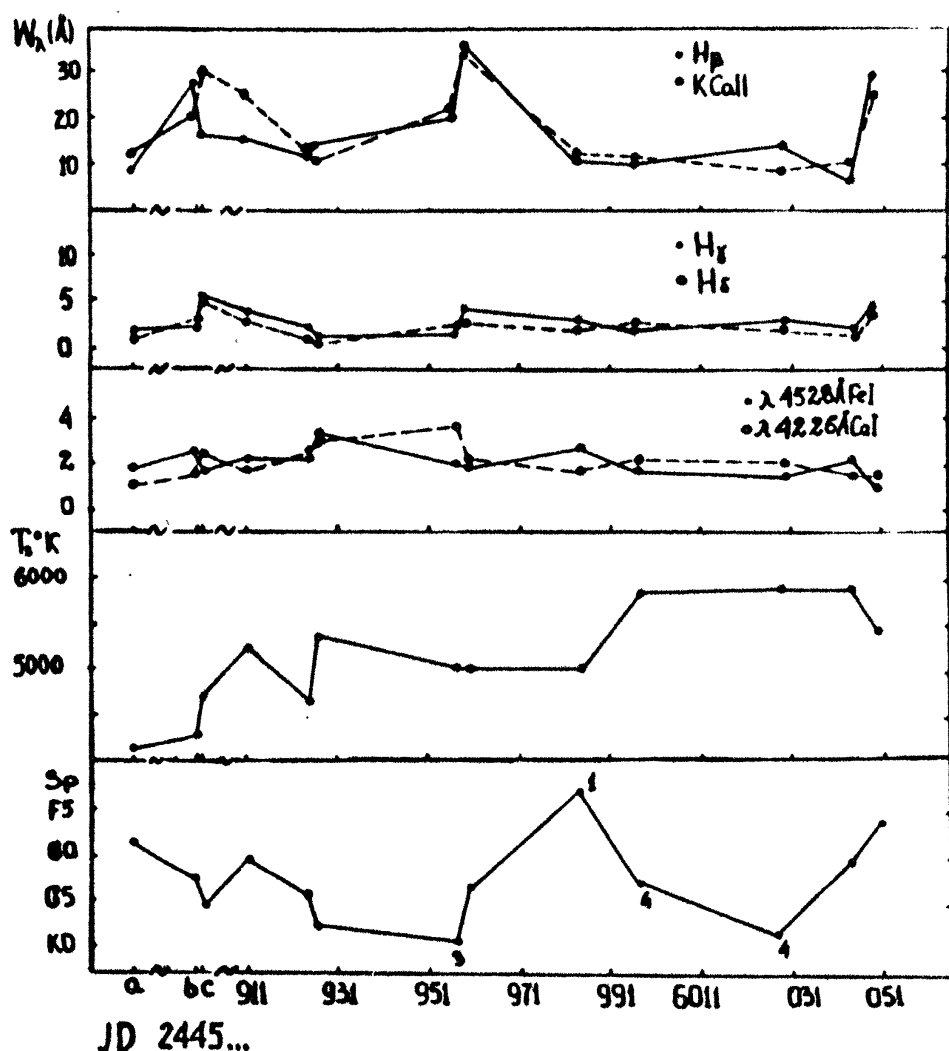


Рис. 4. Приведено временное изменение по всем сезонам эквивалентных ширин некоторых линий, спектрофотометрической температуры и спектрального класса DI Сер. Точки "а", "в", "с" соответствуют первым трем датам, указанным в табл. 1.

Прямая корреляция между линиями К Ca II и H β , H γ показывает, что эти линии в основном являются суперпозицией двух компонент. Од более стабильный – видимо принадлежит сравнительно спокойным областям, а второй образуется в разных частях атмосферы звезды под воздействием нерегулярных процессов. Поэтому при больших значениях эквивалентных ширин между этими линиями корреляции ослабляется. "Вспышки" в отдельных линиях у других звезд типа Т Тельца наблюдались раньше Исмаиловым (1974), Аппенцеллером и др. (1983). Аномальное изменение в отдельных линиях можно объяснить быстрым меняющимися физическими условиями в локальных областях атмосферы звезды.

Наблюдаемые лучевые скорости линий позволяют сделать вывод, что происходит истечение вещества на уровне фотосферы, а в верхних слоях атмосферы – падение его на звезду.

Объяснения изменения спектрофотометрической температуры и спектрального класса, а также наличие между ними обратной корреляции (рис.4), наталкиваются на трудности. Возможно, примененная методика для определения этих параметров не совсем корректна в случае звезды DI Сер. Также трудно что-либо сказать о зависимости интенсивностей разных линий с уровнем непрерывного спектра звезды (рис.3).

Предполагая образование активных областей в атмосфере звезды DI Сер можно объяснить некоторые особенности ее спектра.

В заключении выражаю благодарность Исмаилову З.А. за постоянное внимание и ценные советы, а также Рустамову Б.Н. за полезные замечания при исполнении работы. Благодарю также Салманова И.Р. и Тимошенко Л.В. за любезно предоставленные спектры DI Сер.

Таблица 1.

№Sp	J.D.	Время экспозиции	UT	Эмульсия
1	2442611	1 ^h 00 ^m	22 ^h 10 ^m	Kod.103•O
2	611	1 00	23 15	—''''—
3	43725	1 20	21 10	—''''—
4	725	1 30	22 55	—''''—
5	725	1 20	00 20	—''''—
6	725	1 30	01 55	—''''—
7	726	1 30	23 10	—''''—
8	726	1 30	00 45	—''''—
9	726	1 30	02 20	—''''—
10	45911	1 30	22 15	ORWO ZU-21
11	911	1 30	23 45	—''''—
12	925	2 00	22 15	—''''—
13	925	1 30	00 25	—''''—
14	925	1 10	01 45	—''''—
15	926	1 30	22 15	—''''—
16	926	1 30	23 41	—''''—
17	957	1 30	19 55	—''''—
18	959	1 30	19 15	—''''—
19	959	1 30	21 35	—''''—
20	984	1 30	21 20	Kod.103•O
21	997	1 30	20 30	—''''—
22	997	1 30	22 15	—''''—
23	46030	1 30	16 50	—''''—
24	030	1 30	18 30	—''''—
25	030	1 30	19 50	—''''—
26	043	1 30	16 50	—''''—
27	045	1 30	18 25	—''''—
28	046	1 30	18 35	—''''—
29	047	1 30	16 00	—''''—
30	048	1 30	16 25	—''''—
31	049	1 20	16 00	—''''—

Таблица 2.

$W_{\lambda}(\text{\AA})$																	
ASp	H β	H γ	H δ	HCaII	KCaII	Fel	Fel	Fel	Fel	Fel	Fel	Fel	Fel	Fella	Felle	MgII	CaI
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	10.4	2.4	0.7		7.2	7.4	2.7	2.1	1.5	2.5	2.3	2.7	1.8	0.8	-	-	1.3
2	8.4	1.3	2.0		7.7	17.7	1.7	2.0	-	0.7	1.3	0.7	-	1.1	-	1.1	-
3	31.0	8.2	2.5		14.2	25.6	-	2.4	1.9	0.7	2.7	1.8	0.9	1.8	-	1.9	2.6
4	31.8	10.5	2.9		12.5	24.8	2.7	3.6	-	-	1.5	1.1	2.0	1.8	0.5	3.6	1.1
5	15.0	5.0	4.1		22.2	27.6	1.5	1.8	3.6	2.4	2.1	2.4	1.6	3.0	0.5	3.0	2.5
6	35.3	15.5	1.1		9.8	17.3	1.4	4.0	3.0	2.4	1.8	2.4	1.3	3.1	-	3.5	2.3
7	18.4	5.6	5.0		15.8	27.7	1.2	1.7	3.6	1.7	-	2.5	1.4	1.2	0.6	2.2	2.5
8	16.6	6.7	7.5		23.4	38.0	1.3	1.9	-	1.6	1.4	2.7	1.3	2.4	0.4	1.6	3.3
9	15.5	4.8	5.9		14.9	27.7	1.3	1.8	2.6	1.6	-	2.5	-	1.4	1.0	1.4	2.1
10	14.4	4.1	3.0		12.7	26.5	-	2.3	2.5	-	2.5	2.7	2.6	2.8	0.4	1.1	1.6
11	18.3	5.4	4.8		16.6	24.3	1.2	2.2	1.8	1.2	-	1.7	-	0.8	1.2	1.1	2.3
12	6.3	2.9	-		3.2	5.3	2.5	2.4	3.5	2.1	2.6	1.4	-	1.5	-	3.6	1.5
13	15.5	3.3	1.6		7.9	12.2	0.8	1.5	2.9	1.5	2.4	2.7	1.1	-	0.4	0.9	2.6
14	17.2	1.7	0.9		10.6	19.1	1.2	1.8	3.1	1.7	1.6	3.9	1.9	-	-	1.7	3.6
15	8.5	2.6	0.4		4.1	11.1	2.6	4.6	2.4	2.1	2.7	1.7	2.8	-	-	-	2.9
16	19.6	1.7	1.6		5.5	10.8	2.2	2.5	-	2.7	-	-	-	1.9	-	0.4	3.8
17	20.6	1.8	2.2		15.0	22.4	1.2	2.2	2.9	1.3	1.7	1.3	2.5	-	2.9	1.5	1.9
18	44.8	4.2	3.7		14.1	23.3	1.1	2.7	-	2.2	-	1.7	-	1.3	0.8	2.2	2.8
19	27.3	5.7	1.1		24.7	34.8	0.8	1.5	2.1	2.2	-	1.7	-	1.8	0.3	1.8	2.3
20	10.8	4.9	2.4		19.4	29.0	0.7	2.1	2.1	1.8	1.7	1.5	-	1.5	0.5	0.8	2.1
21	9.7	3.2	2.7		10.0	15.0	0.6	1.4	2.1	1.3	-	2.2	2.1	1.4	-	-	-
22	11.5	1.5	-		5.2	7.2	0.7	2.5	-	-	-	-	-	-	0.9	-	-
23	14.5	2.9	4.3		4.9	9.1	1.4	1.5	-	1.5	-	2.6	1.9	1.1	0.4	-	2.2
24	15.2	2.8	2.7		5.4	7.1	-	1.9	-	-	2.3	1.0	1.4	0.6	-	1.1	3.2
25	14.6	4.7	3.0		7.5	11.7	-	1.3	2.5	2.0	-	0.9	-	0.9	0.4	0.4	0.9
26	6.6	2.2	1.7		6.2	11.8	0.5	3.4	2.1	2.4	-	1.5	0.4	1.6	-	0.4	2.2
27	7.4	1.8	1.4		7.5	8.8	0.4	1.4	1.5	1.1	1.1	1.0	1.4	0.9	0.7	1.5	1.1
28	14.0	6.3	2.1		10.8	19.2	0.8	1.6	1.8	1.4	1.5	1.8	0.9	-	-	2.5	-
29	10.9	5.0	3.8		4.6	10.9	2.3	0.7	-	1.0	1.6	-	-	2.6	0.8	0.5	3.4
30	14.6	3.5	3.0		15.9	37.3	-	1.2	1.2	1.4	-	-	0.8	-	0.7	1.1	1.3
31	20.1	4.8	4.2		16.9	35.5	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 3.
V_r (км/сек)

№Sp	Hβ	Hγ	Hδ	H CaII	K CaII	FeI 4528Å	FeI 4324Å	Felle 4233Å	CaI 4226Å
1	-16	52	-59	-32	30	-47	-120	-92	-120
2	12	24	-32	-32	24	-70	-86	-120	-80
3	145	26	39	-44	55	-16	-	-69	-86
4	-23	31	-7	-23	49	-14	-	85	21
5	97	3	93	-	-	26	-82	-97	-72
6	-6	17	43	-44	14	-33	-17	-18	-68
7	70	33	-24	-16	22	-90	32	-	-56
10	51	87	155	2	12	-46	-160	-32	-210
11	52	97	114	-9	-11	-145	-73	-61	-61
12	98	7	-16	29	30	-3	88	-	-180
13	56	71	-162	9	49	-2	-85	-120	-80
14	-24	40	6	-15	-110	-55	-15	25	-90
15	50	140	-12	-57	-16	109	-77	-16	-
16	28	79	-13	-48	-16	59	-90	-11	-109
17	36	83	7	2	-24	-140	-56	-96	-247
18	61	28	16	-2	-9	-97	-77	-126	-107
19	63	10	-9	-32	-55	-57	-105	-149	-55
23	84	24	-21	-40	35	-67	-57	-12	-27
24	26	46	-13	-13	-9	-98	-170	-8	-94
25	128	62	41	-54	26	-112	-112	-98	68
26	-5	23	-32	-27	8	-75	-45	-57	-24
27	2	6	-9	-10	-38	-6	-81	-49	-70
28	41	-7	-16	21	19	-8	27	-92	-21
31	17	-1	55	-39	-6	-16	-47	-54	-29

Таблица 4.

Ноци	T _s K	n	Sp
1	4200	2	F8
2	4380	4	G2
3	4730	3	G5
4	5260	2	G0
5	4690	3	G4
6	5390	2	G7,5
7	5390	1	G9(1)
8	5040	2	G3
9	5040	1	F2,5(1)
10	5800	2	G2,5
11	5800	3	G8
12	5800	2	G0
13+16	5500	4	G6

Литература:

Аппенцеллер и др., 1983 – Appenzeller J., Östreicher R., Schiffer I.G.,
Egge K.E., and Petersen B.R, *Astron. and Astrophys.* **118**, 75.
Бродская Э.С., 1951, *Известия КрАО* **7**, 133.
Гаам и др., 1978 – Гаам Г.Ф., Гершберг Р.Е., Петров Н.П., Шерба-
ков Е.А., Зайцева Г.В., Шанин Г.Н., *ИЗ* **20**, 381.
Гринин и др., 1980 – Гринин В.П., Ефимов Ю.С., Краснобабцев В., Ша-
ховская Н.Н., Шаховской Н.М., Шербаков А.Р., Зайцева Г.В.,
Колотилев Е.А., Шанин Г.Н., Киселев Н.Н., Гюлашев Ч.Г.,
Салманов И.Р., *ИЗ* **21**, 247.

Джой, 1949 — Joy A.J., ApJ **110**, 424.

Исмаилов З.А., 1974, Диссертация, Шемаха.

Исмаилов З.А., Исмаилов Н.З., 1985 (в печати).

Кохени Шварц, 1976 — Cohen M., Schwartz R.D., MN **174**, 137.

Краснобабцев В.И., 1982, Известия КрАО **65**, 100.

Кухи, 1974 — Kuhl L.V., Astron. and Astrophys. Suppl. **15**, 47.

Мундт и Бастиен, 1979 — Mundt R., Bastien U., Mitt. Astron. Gesellschaft **45**, 156.

Петров П.П., 1972, Известия КрАО **46**, 25.

Рустамов Б.Н., 1985, (в печати).

Шемахинская астрофизическая
обсерватория АН Азерб. ССР

*Поступила в редакцию
10 июля 1985 г.*